



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PERHITUNGAN ULANG SISTEM PENGKONDISIAN UDARA
PADA LANTAI 3 MALL DI SURABAYA**

**SANNA AYU RACHMAYANTI
NRP 2112 106 047**

**Dosen Pembimbing
Bambang Arip Dwiyantoro,ST.,MSc.,Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM 141585

**AIR CONDITIONING RE-CALCULATION ON 3rd FLOOR
MALL SURABAYA**

SANNA AYU RACHMAYANTI
Student Number, 2112 106 047

Academic Supervisor
Bambang Arip Dwiyantoro,ST.,MSc.,Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PERHITUNGAN ULANG SISTEM PENGKONDISIAN
UDARA PADA LANTAI 3 MALL DI SURABAYA**

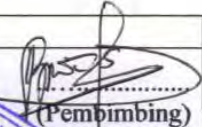
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Teknik Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SANNA AYU RACHMAYANTI

Nrp. 2112 106 047

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :	
1. <u>Bambang Arip Dwiyanoro, ST, M.Sc, Ph.D</u> (NIP. 197804012002121001)	 (Pembimbing)
2. <u>Ary Bachtiar K P, ST, MT, Ph.D</u> (NIP. 197105241997021001)	 (Penguji I)
3. <u>Dr.Ir.Budi Utomo Kukuh Widodo, ME</u> (NIP. 195312191981031001)	 (Penguji II)
4. <u>Dr.Bambang Sudarmanta, ST, MT</u> (NIP. 197301161997021001)	 (Penguji III)

**SURABAYA
JULI, 2015**

PERHITUNGAN ULANG SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA LANTAI 3 MALL DI SURABAYA

Nama : Sanna Ayu Rachmayanti
NRP : 2112 106 047
Jurusan : Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing : Bambang Arip Dwiyantoro,ST,MSc,
Ph.D

Abstrak

Perhitungan sistem pengkondisian udara ini dimaksudkan untuk menunjang kenyamanan bagi pengunjung dan pekerja pada Area Food Court di salah satu gedung Mall Surabaya. Hal ini sangat penting, mengingat food court merupakan daerah yang rentan terkena beban panas pada setiap stannya. Namun hal ini dapat dicapai dengan mengalirkan udara yang telah dikondisikan (77°F, 50%) oleh peralatan pengkondisian udara menuju area food court dengan tepat.

Perhitungan ulang meliputi beban pendingin dan penurunan tekanan pada saluran ducting, Metode yang digunakan dalam perhitungan ulang ini yaitu dengan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) dengan memperhatikan letak geografis, dimensi, konstruksi dan kondisi luar bangunan. Sedangkan *equal friction method* digunakan untuk menghitung penurunan tekanan pada saluran ducting. Desain temperatur ruangan didasarkan pada ASHRAE *standard comfort zone* sedangkan desain di luar gedung didasarkan pada data dari BMKG Juanda.

Perhitungan ulang ini menunjukkan bahwa beban pendinginan pada jam 19.00 merupakan beban puncak pada area lantai 3 dengan total pendinginan sebesar 5640925,89 Btu/hr. Dengan tekanan total fan static pressure yang ditanggung oleh AHU adalah sebesar 1,00918 bar untuk AHU 4-1, 0,01288 bar untuk AHU 4-2, 0,01484 bar untuk AHU 4-3, 0,03822 bar untuk

AHU 4-4, 3,1588 bar untuk AHU 4-5, 2,1028 bar untuk AHU 4-6, 18,6594 bar untuk AHU 4-8, 0,04815 bar untuk AHU 4-9, 0,01217 bar untuk AHU 4-10, 0,07834 bar untuk AHU 4-11, 0,00170 bar untuk AHU 4-12, 0,11161 bar untuk AHU 4-13, 0,03600 bar untuk AHU 4-14, 0,00841 bar untuk AHU 4-15, 0,00009 bar untuk AHU 4-16.

Kata kunci : *cooling load, Air Handling Unit, fan, ducting.*



AIR CONDITIONING SYSTEM RE-CALCULATION ON 3rd FLOOR MALL SURABAYA

Name : Sanna Ayu Rachmayanti
NRP : 2112 106 047
Department : Teknik Mesin FTI ITS
Advisor Lecturer : Bambang Arip Dwiyanoro, ST., MSc.,
Ph.D

Abstract

The calculation of air conditioning is intended to provide comfort for visitors and workers at Foodcourt are of a Mall in Surabaya. This calculation is important because the foodcourt area is subjected to certain amount of heat load from the activity at each food stall within the area. Hence; The flowing air at 77F and 50% is directed into the area using air conditioning devices.

Re-calculation by including heat load and pressure drop at air ducting. The method used in heat load recalculation is CLTD (Cooling Load Temperature Difference) which take geographic location, construction and ambient temperature outside the building into consideration while equal friction method is used to re-calculate the pressure drop within the ductings. The room temperature design is based on ASHRAE's comfort zone standard while the outside design of the building is based on BMKG Juanda.

This re-calculation explain that cooling load at 19.00 is peak load for 3rd floor with total cooling load 5640925,89 Btu/hr. With fan static pressure total 1,00918 bar for AHU 4-1, 0,01288 bar for AHU 4-2, 0,01484 bar for AHU 4-3, 0,03822 bar for AHU 4-4, 3,1588 bar for AHU 4-5, 2,1028 bar for AHU 4-6, 18,6594 bar for AHU 4-8, 0,04815 bar for AHU 4-9, 0,01217 bar for AHU 4-10, 0,07834 bar for AHU 4-11, 0,00170 bar for AHU

*4-12, 0,11161 bar for AHU 4-13, 0,03600 bar for AHU 4-14,
0,00841 bar for AHU 4-15, 0,00009 bar for AHU 4-16.*

Keywords : cooling load, Air Handling Unit, fan, ducting.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT atas segala rahmat, hidayah, rizki, inayah-Nya serta kasih sayang-Nya dan ijin-Nya yang diberikan kepada Penulis sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini antara lain :

1. Bapak Bambang Arip D, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing penulis yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta nasihat dalam penyusunan Tugas Akhir,
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc, Eng, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dan Bapak Arif Wahjudi selaku koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan.
3. Kedua orang tua, Ady Sutjipto dan Yayuk Halifah karena selalu memberikan doa, dukungan, pengajaran menjadi pribadi yang menyenangkan, perhatian dan kasih sayang sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan pendidikan S1 dengan baik.
4. Kakak saya yang sangat saya sayangi Ika Rachmawati.

5. Bapak Ary Bachtiar K.P, S.T, M.T, Ph.D, Bapak Dr.Bambang Sudarmanta, S.T,M.T, Bapak Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E selalu dosen penguji Sidang Tugas Akhir saya terimakasih atas ilmu dan saran yang diberikan untuk Tugas Akhir saya.
6. Seluruh dosen S1 Teknik Mesin FTI-ITS yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.
7. Cak To, Ibu Sri, Mbak Sri, Pak No, Pak Jo, dan seluruh karyawan Teknik Mesin FTI-ITS terimakasih atas bantuan yang diberikan kepada Penulis selama kuliah.
8. Koordinator Lab Pendingin Pak Minto dan Mas Erdin atas dukungan doa dan semangat kepada Penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
9. Anggota seperjuangan Tugas Akhir di Lab. Pendingin dan Pengkondisian Udara: Dwina, Ferry, Agung, Meilani, Septi, Achmed, Acan, Ruben selalu semangat dan semoga sukses.
10. Teman-teman kos tersayang yang selalu memberikan dukungan dan motifasi.
11. Semua teman-teman LJ 2012 Genap tersayang yang selalu memberikan semangat satu sama lainnya dan selalu memberikan pertolongan dan perlindungan kepada penulis selama penulis di Surabaya.

12. Seluruh pihak yang belum disebutkan satu per satu terimakasih atas bantuan, doa, dukungan, serta motivasi kepada Penulis sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Metodologi.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Definisi Pengkondisian Udara.....	7
2.3 Proses Pengkondisian Udara	7
2.3.1 Air Handling Unit.....	8
2.4 Beban Pendinginan	10
2.4.1 Zona Kenyamanan Penghuni.....	11
2.5 Perhitungan Beban Pendinginan	12
2.5.1 Beban Transmisi	13
2.5.2 Beban Radiasi Matahari Melalui Kaca.....	15
2.5.3 Beban Partisi.....	15
2.5.4 Beban Infiltrasi	16
2.5.5 Beban Penerangan	16
2.5.6 Beban Penghuni.....	17
2.5.7 Beban Peralatan	17
2.5.8 Beban Pendinginan Total.....	18



2.6	Faktor Keamanan.....	18
2.7	Sistem Pengkondisian Udara.....	19
2.7.1	All Air System	19
2.7.2	Air-Water System	19
2.7.3	All Water System.....	20
2.7.4	Unitary System.....	20
2.8	Diagram Psikrometrik	20
2.8.1	Definisi.....	20
2.8.2	Bypass Factor.....	22
2.9	Sistem Saluran Udara (Ducting).....	23
2.9.1	Jenis Saluran Udara.....	23
2.9.1.1	Sistem Saluran Persegi	23
2.9.1.2	Sistem Saluran Tunggal	23
2.9.1.3	Sistem Saluran Melingkar	23
2.10	Klasifikasi Perencanaan Saluran Udara	24
2.10.1	Metode Penentuan Ukuran Penampang Saluran	25
2.10.2	Equal Friction Method	25
2.11	Penurunan tekanan didalam saluran lurus persegi	25
2.12	Penurunan tekanan didalam sambungan (fitting)	26
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Langkah – Langkah Penelitian	29
3.1.1	Persiapan Awal	29
3.1.2	Peralatan.....	30
3.2	Denah.....	32
3.3	Data Hasil Survei.....	35
3.3.1	Data Umum	35
3.3.2	Data Chiller.....	35
3.3.3	Data Air Handling Unit.....	36
3.3.4	Kondisi ruangan	37
3.3.5	Data Temperatur tiap Ruang	39
3.3.6	Kondisi Udara Lingkungan Luar	40
3.4	Beban Ruang.....	40



3.5	Beban Penghuni.....	40
3.6	Beban Lampu.....	41
3.7	Beban Peralatan Elektronik.....	43
3.8	Data Konstruksi (Atap, Dinding, Kaca)	44
3.8.1	Atap.....	44
3.8.2	Dinding dan Kaca	44
3.9	Layout Food Court	49
3.10	Flowchart.....	50
3.10.1	Langkah Perencanaan	50
3.10.2	Flowchart perhitungan beban pendinginan ..	51
3.10.3	Flowchart Perhitungan Static Pressure Fan ..	52
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Perhitungan Beban Pendinginan.....	53
4.1.1	Perhitungan Beban Tansmisi pada Dinding..	54
4.1.2	Perhitungan Beban Transmisi Kaca.....	56
4.1.3	Perhitungan Beban Radiasi Kaca.....	57
4.1.4	Perhitungan Beban Infiltrasi	59
4.1.5	Perhitungan Beban Penerangan	60
4.1.6	Perhitungan Beban Penghuni.....	61
4.1.7	Perhitungan Beban Peralatan Listrik	61
4.1.8	Perhitungan Beban Pendinginan pada Saluran Udara (Ducting).....	62
4.1.9	Beban Pendinginan pada Fan.....	63
4.1.10	Beban Pendinginan Total Ruangan.....	63
4.1.11	Beban Pendinginan Total Udara Luar.....	64
4.1.12	Beban Pendinginan Total.....	64
4.1.13	Pertimbangan Faktor Keamanan dalam Perhitungan.....	65
4.1.14	Design Hour.....	65
4.1.15	Perhitungan RSHF	66
4.1.16	Perhitungan Beban Koil Pendingin.....	66
4.1.17	Perhitungan Kapasitas Udara Supply (CFM) Area Food Court	67
4.1.18	Aplikasi Psychrometric.....	68



4.1.19	Perhitungan Debit Udara Area Food Court.	69
4.1.20	Perhitungan Laju Alir Massa dan Debit Air Area Food Court.	71
4.2	Perhitungan Ulang Air Handling Unit	72
4.2.1	Perhitungan Kecepatan Aliran Udara (Vudara)	74
4.2.2	Perhitungan Reynolds Number (Re)	74
4.3	Perhitungan Pressure Drop (ΔP)	75
4.3.1	Perhitungan Pressure Drop (ΔP) Saluran Lurus	75
4.3.2	Perhitungan Pressure Drop (ΔP) Reduction Area	76
4.3.3	Perhitungan Pressure Drop (ΔP) Duct Fitting Elbow 90°	77
4.3.4	Pressure Drop (ΔP) Total Ducting	77
4.4	Analisa Perhitungan	78
4.4.1	Distribusi setiap beban pendinginan pada area Food Court	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		87
BIODATA PENULIS		88
LAMPIRAN		



halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Desain AHU berdasarkan perencanaan ulang dan desain awal dari Siromul Abdi	6
Tabel 2.2	Desain AHU berdasarkan perencanaan ulang dan desain awal dari Titin Handriana Rosari	6
Tabel 2.3	Kecepatan udara dan temperatur nyaman.....	12
Tabel 2.4	Recommended Maximum Duct Velocities for Low Velocity (fpm)	24
Tabel 3.1	AHU pada Lantai 3 Mall ABC Surabaya.....	37
Tabel 3.2	Luas tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3	38
Tabel 3.3	Data temperatur tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3 ..	39
Tabel 3.4	Kondisi rancangan udara luar	40
Tabel 3.5	Jumlah pengunjung tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3	41
Tabel 3.6	Tabel Jumlah Lampu Mall ABC di Lantai 3	41
Tabel 3.7	Jumlah Peralatan Elektronik yang Digunakan tiap tenant	43
Tabel 3.8	Konstruksi Bahan Dinding Hebel 1 (Hb1).	45
Tabel 3.9	Konstruksi Bahan Dinding Hebel 2 (Hb2)	45
Tabel 3.10	Luas Dinding dan Kaca tiap Tenant pada Lantai 3 Mall ABC Surabaya	46
Tabel 4.1	Hasil Penyesuaian Arah Mata Angin	54
Tabel 4.2	Cooling Load Temperature Different (°F) untuk dinding grup D, °F.....	54
Tabel 4.3	CLTDc (oF) untuk dinding grup D	55
Tabel 4.4	Cooling Load Temperature Different for Conduction Through Glass °F	56
Tabel 4.5	Cooling Load Temperature Different corrected for Conduction Through Glass °F.....	57
Tabel 4.6	Maximum Solar Heat Gain Factors for Glass, Btu/hr-ft ²	58
Tabel 4.7	Cooling Load Factors for Glass with Interior Shading.	58



Tugas Akhir Konversi Energi

Tabel 4.8	Perhitungan beban penerangan.....	60
Tabel 4.9	Perhitungan beban peralatan listrik	62
Tabel 4.10	Distribusi beban puncak setiap AHU dalam Area Food Court	66
Tabel 4.11	Grand Sensible Heat Factor (GSHF).....	67
Tabel 4.12	Debit Udara tiap AHU.....	70
Tabel 4.13	Debit Air setiap AHU.....	72
Tabel 4.14	Distribusi beban pendinginan dan udara pada AHU 4-14.....	73
Tabel 4.15	Pressure drop (ΔP) setiap AHU berdasarkan kebutuhan performa AHU.....	78
Tabel 4.16	Distribusi beban pendinginan pada food court	79



halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi beban pendinginan.....	7
Gambar 2.2	Sistem pengkondisian udara sederhana	7
Gambar 2.3	Air Handling Unit.....	9
Gambar 2.4	<i>Psychrometric Chart</i>	21
Gambar 2.5	Kerangka dari bagan psikrometrik.....	22
Gambar 2.6	Penampang saluran persegi.....	26
Gambar 2.7	Aliran melalui bagian saluran yang mengecil....	27
Gambar 2.8	Aliran yang memisah didalam suatu belokan	27
Gambar 3.1	<i>Laser Distance Meter</i>	30
Gambar 3.2	<i>Environmental Meter</i>	31
Gambar 3.3	Sling Termometer	32
Gambar 3.4	AHU 4-4	32
Gambar 3.5	AHU 4-3 dan AHU 4-5	33
Gambar 3.6	AHU 4-6.	33
Gambar 3.7	AHU 4-8 dan AHU 4-9.	34
Gambar 3.8	AHU 4-12 dan AHU 4-13.....	34
Gambar 3.9	AHU 4-14 dan AHU 4-15.....	35
Gambar 3.10	Konstruksi Dinding Hb1 dan Hb2	45
Gambar 3.11	Denah Lantai 3 Mall Di Surabaya	49
Gambar 4.1	Grafik Beban Pendingin.....	65
Gambar 4.2	Model sistem pengkondisian udara	69
Gambar 4.3	Aplikasi <i>psycrometric chart</i>	69
Gambar 4.4	Model sistem perhitungan <i>pressure drop</i>	73
Gambar 4.5	Moody Diagram.....	76
Gambar 4.6	Distribusi Beban Pendinginan Total Area Food Court.....	81



halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu hal yang sangat penting dan selalu dibutuhkan dalam jumlah yang tidak sedikit. jumlah populasi manusia yang semakin hari semakin meningkat, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan energi. Hal ini mengakibatkan sumber energi yang ada di bumi akan semakin berkurang dan lama-lama akan habis. Beberapa gedung yang memerlukan banyak energi terutama listrik adalah gedung bertingkat, pabrik, rumah sakit, dan gedung perkantoran. Salah satu gedung bertingkat yang memerlukan banyak energi adalah mall. Hampir 50% energi listrik pada mall digunakan untuk mensuplai suatu sistem tata udara (AC).

Pada dasarnya prinsip kerja *Air Conditioner* (AC) sama dengan refrigerasi, namun *Air Conditioner* (AC) tidak berfungsi sebagai pendingin saja, tetapi harus dapat menghasilkan udara nyaman. Hal ini dilakukan dengan jalan pengontrolan terhadap kondisi udara yang meliputi suhu, kelembaban, gerakan udara, tekanan udara, pada sistem tata udara ‘Gedung Mall ABC di Surabaya’. Dengan melakukan analisa energi pada ‘*Air Handling Unit (AHU)*’ yang digunakan dalam sistem tata udara gedung tersebut, dapat diketahui sumber pemborosan energi yang mungkin terjadi.

Sistem tata udara pada bangunan besar sangat membutuhkan efisiensi energi. Dengan sistem pengkondisian udara yang benar sesuai dengan spesifikasinya, perhitungan cooling load yang benar akan berkaitan dengan kenyamanan pekerja dan pengunjung. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengambil bahasan tentang pengkondisian udara ini menjadi bahan Tugas Akhir dengan objek perancangan pada area Gedung Mall ABC di Surabaya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diangkat oleh penyusun dalam proyek Tugas Akhir ini, adalah:

1. Menghitung beban pendinginan oleh perangkat pengkondisian udara pada area lantai 3 di salah satu Gedung Mall ABC di Surabaya.
2. Merencanakan peralatan pengkondisian udara termasuk diantaranya AHU (*Air Handling Unit*) dan penurunan tekanan saluran udara (*pressure drop*).

1.3 Batasan Masalah

Manajemen Energi merupakan lingkup yang sangat luas untuk diteliti. Untuk itulah pada tugas akhir ini ada beberapa batasan – batasan yang meliputi :

1. Pengambilan data pada hanya pada lingkup dan ruangan yang diizinkan oleh pengelola gedung saja.
2. Pada beban pendinginan, sampel area yang diambil adalah area Lantai 3 pada zona tertentu.
3. Gedung mall ABC di kota Surabaya terletak pada posisi $7^{\circ}17'34.7''$ LS dan $112^{\circ}43'09.6$ BT.
4. Kondisi desain ruangan didasarkan pada comfort zone untuk standar *ASHRAE* dengan temperature ruangan yang konstan.
5. Peralatan pendukung *air handling unit*, yaitu pompa, pemilihannya dianggap tepat, sehingga tidak dilakukan perhitungan ulang.
6. Peralatan yang digunakan untuk pengambilan data dalam kondisi baik dan sudah terkalibrasi

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung beban pendinginan beserta peralatan kelistrikan untuk sistem pengkondisian udara pada area lantai 3 di salah satu Gedung Mall ABC di Surabaya.

2. Menghitung kapasitas udara pada setiap *air handling unit* pada area lantai 3 di salah satu Gedung Mall ABC di Surabaya.
3. Perhitungan kebutuhan *static pressure fan* AHU pada area lantai 3 di salah satu Gedung Mall ABC di Surabaya.

1.5 Metodologi

Dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir ini metodologi yang dilakukan meliputi hal-hal berikut ini:

1. Studi literatur, meliputi pengumpulan data-data serta teori yang menjadi dasar untuk pemecahan permasalahan yang telah ditetapkan.
2. Pengamatan lapangan, meliputi *air handling unit*, *fan*, saluran udara, jumlah penghuni, konsumsi bahan bakar dan data-data yang didapatkan dari *handbook*.
3. Pengelolaan dan perhitungan data yang didapat dari pengamatan lapangan dengan metode CLTD. Analisis dan perhitungan dari sistem, meliputi perhitungan *cooling load*, kapasitas pendinginan AHU, dan ΔP pada saluran *ducting*

1.6 Sistematika Laporan

Metode penulisan yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah studi pustaka, dimana dibutuhkan beberapa referensi yang mendukung demi terselesaikannya tugas akhir. Adapun sistematika dalam penulisan ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika penulisan dari penelitian yang dilakukan .

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka yaitu standart penerangan pada gedung mall, besarnya beban pendinginan, serta radiasi matahari serta tahapan audit energi.

BAB III : METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tentang diagram alir penelitian dan prosedur pengambilan data untuk validasi.

BAB IV : PERHITUNGAN DAN ANALISA

Bab ini membahas tentang perhitungan beban pendinginan, serta besarnya peluang penghematan energi .

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menuliskan kesimpulan dan saran yang ditunjukkan kepada pihak manajemen Mall.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Siromul Abdi (2010) dalam tugas akhirnya yang berjudul *“Perencanaan Ulang Sistem Pengkondisian Udara pada Gedung Administrasi dan Operasional PT. Angkasa Pura I Bandara Internasional Juanda Surabaya”* melakukan penelitian perencanaan sistem pengkondisian udara yang dimaksudkan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuni dalam melakukan aktivitas perkantoran pada gedung Administrasi dan Operasional PT. Angkasa Pura I Bandara Internasional Juanda Surabaya. Kondisi tersebut dapat tercapai dengan jalan mensuplai udara yang telah dikondisikan oleh peralatan pendingin menuju ke dalam setiap ruang kerja. Dengan itu maka dilakukan penghitungan beban pendinginan dari setiap ruangan dan menentukan distribusi udara kesetiap ruangan tersebut. Disamping itu juga dilakukan perhitungan terhadap *statistic pressure fan* yang terinstall di dalam AHU serta kebutuhan *head* dan kapasitas pompa untuk distribusi *chilled water*. Desain temperatur ruangan didasarkan pada *ASHRAE standart comfort zone* sedangkan *design* di luar gedung didasarkan pada data dari BMKG Klas 1 Juanda. Hasil dari perhitungan beban pendinginan, perhitungan kapasitas udara, dan perhitungan *statistic pressure fan* digunakan sebagai acuan dalam memilih peralatan pengkondisian udara. Sedangkan hasil perhitungan *head* dan kapasitas pompa digunakan sebagai verifikasi terhadap *head* dan kapasitas pompa yang sudah terpasang saat ini.

Tabel 2.1 Desain AHU berdasarkan perencanaan ulang dan desain awal dari Siromul Abdi

AHU	Static Pressure (Pa)		Air flow (m ³ /s)		Cooling Load (kW)	
	Perencanaan Ulang	Desain Awal	Perencanaan Ulang	Desain Awal	Perencanaan Ulang	Desain Awal
A-01	750	500	16.8	10.1	406	235
A-02	300	300	3.6	3	79	60
O-01	750	750	16.8	16.8	406	406
N-01	300	300	3	3	60	60
CT-01	500	500	6.2	5	137	107
CT-02	300	300	1.9	2.3	36	41

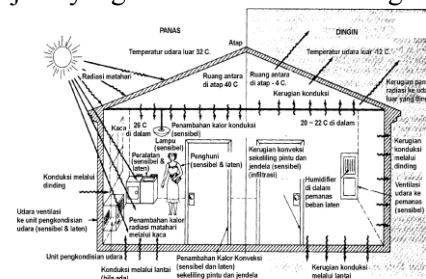
Titin Handriana Rosari (2011) dalam tugas akhir nya yang berjudul *"Perhitungan Ulang Sistem Pengkondisian Udara di Food Court area Mall City of Tomorrow Surabaya"*. Dilakukan penelitian di mall untuk memberikan rasa nyaman kepada konsumen selama melakukan aktivitasnya. Metode yang dipakai dalam perhitungan ulang sistem pengkondisian udara adalah dengan menggunakan metode *CLTD (Cooling Load Temperature Difference)*. Dengan diperoleh data peralatan listrik, penghuni, lampu, dan konstruksi gedung. Selain itu juga dilakukan perhitungan saluran udara serta udara yang disediakan harus sesuai dengan kebutuhan. Setelah hasil beban pendinginannya didapatkan maka beban pendinginan tersebut selanjutnya diplotkan pada bagan psikrometrik sehingga akan didapatkan kebutuhan peralatan pengkondisian udara yang sesuai.

Tabel 2.2 Desain AHU berdasarkan perencanaan ulang dan desain awal dari Titin Handriana Rosari

AHU	Beban total (Btu/hr)		Kebutuhan Udara (m ³ /s)	
	Perencanaan Ulang	Desain Awal	Perencanaan Ulang	Desain Awal
AHU 1-01	2091708.17	1317333	33.3	8.97
AHU 1-02	1437533.46	1040000	22.9	7.08

2.2 Definisi Pengkondisian Udara

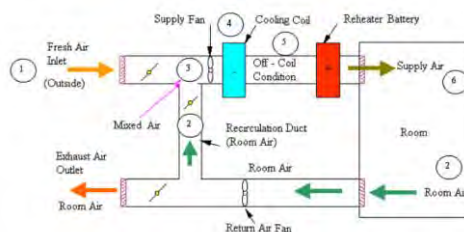
Sistem pengkondisian udara (*air conditioning system*) adalah suatu sistem yang mengendalikan kondisi termal udara meliputi; temperatur, kelembaban, aliran udara, dan kebersihan udara secara serentak dari suatu ruangan sehingga tercapai kondisi yang diinginkan. Pengkondisian udara pada suatu tempat akan di analisa secara terpisah sesuai dengan jenis, karakteristik, dan fungsi tempat tersebut. Pengkondisian udara ditempat yang tidak bergerak akan berbeda dengan pengkondisian udara pada tempat yang bergerak, seperti pada kereta api. Atau pengkondisian udara pada ruang operasi yang diharapkan selalu steril, akan berbeda dengan pengkondisian udara pada mall atau pusat perbelanjaan yang akan selalu ramai dengan pengunjung.



Gambar 2.1 Ilustrasi beban beban pendinginan

2.3 Proses Pengkondisian Udara

Proses pengkondisian udara secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Sistem pengkondisian udara sederhana

Dari gambar 2.2 sistem pengkondisian udara sederhana, udara yang kembali dari udara ruangan (2) bercampur dengan udara luar (1), pada posisi (3) udara yang telah bercampur kemudian didinginkan dan dilembabkan di koil pendingin (4). Pengkondisian udara ini disalurkan ke ruangan melalui *supply fan*, *supply duct*, dan difuser (6). *Supply air* kemudian menyerap beban sensibel dan beban laten dari ruangan, dan menjadikan udara ruangan (2). Dan udara ruangan itu akan kembali ke unit pendingin lagi dan membentuk sistem tertutup.

2.3.1 Air Handling Unit

Pada unit AHU air dingin akan mengkondisikan atau mendinginkan udara segar dari luar gedung sehingga mencapai temperatur dan kelembaban yang cukup dan untuk selanjutnya didistribusikan ke koridor ruangan setiap lantainya stand-stand pada masing-masing lantai. Pada setiap lantai akan ditangani oleh beberapa unit AHU yang memiliki kapasitas pendinginan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan pendinginan pada masing zona di setiap lantai.

Berfungsi untuk saluran udara dalam ruangan dapat dalam keadaan sangat dingin, panas, lembab, kering, kecepatan udara tinggi atau tidak ada gerakan udara. (Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia)

Udara dingin digerakkan oleh Fan masuk *reducing* (saluran udara) dan melalui outlet (grill/lubang isap) masuk ke *ducting return* (saluran kembali) dan melalui filter untuk pembersihan udara masuk melewati celah-celah/ permukaan *coil evaporator* (koil pendinginan) dan kembali digerakkan Fan (kipas udara). Adapun skema AHU terlihat pada gambar dan berikut ini



Gambar 2.3 Air Handling Unit

Komponen Sistem Pengkondisian Udara yang dilalui Sirkulasi Udara

a. Fan (Kipas Udara)

Kipas Udara berfungsi menggerakkan udara dari atau ke dalam ruangan. Jumlah aliran udara dan kecepatan udara harus diatur, agar memperoleh sirkulasi udara yang baik

b. *Supply Duct*

Supply Duct (saluran udara keluar) berfungsi untuk saluran udara dingin dari fan ke dalam ruangan

c. *Supply Outlet* (Lubang Keluar)

Supply Outlet (lubang keluar) berfungsi untuk mengatur arah aliran udara dari fan, sehingga udara terdistribusi ke seluruh ruangan. Untuk kenyamanan, jumlah outlet juga menentukan

d. *Return outlet* (lubang isap)

Biasanya terletak berlawanan dengan supply outlet

e. Filter (saringan udara)

Berfungsi untuk membersihkan udara dan membuang debu/kotoran udara. Ditempatkan pada *return duct*, dan biasanya terbuat dari *plastic*, *fiber glass* atau elektro static

f. *Cooling Coil*

Berfungsi untuk mendinginkan udara. Udara yang masuk melewati *cooling coil* harus melalui filter sehingga debu

tidak tertimbun pada permukaan koil. Biasanya ditempatkan sebelum atau sesudah fan.

2.4 Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan bertujuan untuk mendapatkan besarnya kapasitas perangkat pengkondisian udara yang akan diinstalasikan. Untuk mencapai kondisi ruangan agar sesuai dengan perencanaan maka harus ada sejumlah panas yang dikeluarkan dari ruangan tersebut. Beban pendinginan tersebut antara lain ,

Cooling load didefinisikan sebagai banyaknya panas yang harus dikeluarkan dari ruangan untuk mempertahankan kondisi udara ruangan pada kondisi tertentu. *Cooling load* sesaat tidak sama dengan beban panas sesaat, hal ini disebabkan adanya panas yang diserap oleh permukaan material yang melingkupi ruangan (dinding, lantai, langit-langit), serta furniture yang berada dalam ruangan. Setelah beberapa saat, material tersebut temperaturnya lebih tinggi dari temperatur ruangan.

Heat extraction didefinisikan sebagai banyaknya panas yang dapat dikeluarkan dari ruangan oleh peralatan. Bila kondisi ruangan dipertahankan konstan maka *heat extraction* berharga sama dengan *cooling load* dan jika temperatur ruangan diperbolehkan naik beberapa derajat maka *swing heat extraction* lebih kecil dari *cooling load*. Jadi, *cooling load* dan *heat extraction* merupakan beban yang harus ditangani oleh peralatan. Untuk selanjutnya *cooling load* dan *heat extraction* dinyatakan sebagai beban pendinginan.

Beban peralatan adalah banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mengatasi beban pendinginan agar ruangan dapat dikondisikan seperti yang direncanakan. Beban peralatan ini merupakan jumlah semua komponen beban pendinginan yang telah disebutkan tadi ditambah faktor keamanan dan losses.

2.4.1 Zona Kenyamanan Penghuni

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh *ASHRAE (ASHRAE Fundamentals 1997)*, diketahui bahwa kenyamanan yaitu :

1. Temperatur udara kering
Temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi pada tubuh manusia. Besarnya temperatur udara yang direkomendasikan untuk kondisi nyaman adalah :
 - 21°C - 23°C untuk musim dingin.
 - 24°C - 26°C untuk musim panas.
2. Kelembaban relative udara
Kelembaban udara relative dalam ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan tersebut. Besarnya kelembaban relative yang direkomendasikan untuk kondisi nyaman adalah :
 - 40%-50%, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relative masih diperbolehkan berkisar antara 35%-60%.
3. Kecepatan udara
Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara ruangan tidak boleh lebih besar dari 0.25 m/s dan sebaliknya lebih kecil dari 0.15 m/s. Kecepatan udara ini dapat lebih besar dari 0.25 m/s tergantung dari temperatur udara kering ruangan. Berikut ditabelkan harga kecepatan udara untuk kondisi nyaman berdasarkan udara kering ruangan.

Tabel 2.3 Kecepatan udara dan temperatur nyaman

Kecepatan udara (m/s)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Temperatur udara kering (°C)	25	26,8	26,9	27,1	27,2

4. Radiasi permukaan dinding terhadap ruangan
 Apabila temperatur permukaan dinding di dalam ruangan panas, maka akan mempengaruhi kenyamanan seseorang di dalam ruangan tersebut, meskipun temperatur udara sekitarnya sesuai dengan tingkat kenyamanannya (misalnya di dekat oven atau dapur). Sehingga jika temperatur radiasi rata-rata lebih tinggi dari temperatur udara kering ruangan, maka temperatur udara ruangan rancangan dibuat lebih rendah dari temperatur rancangan.
5. Pakaian dan aktifitas penghuni
 Jenis dan ketebalan pakaian yang digunakan oleh penghuni akan sangat mempengaruhi besarnya temperatur udara kering rancangan yang akan digunakan. Begitu juga dengan tingkat aktifitas penghuni. Secara umum, besarnya temperatur udara nyaman sudah disesuaikan dengan beban pendinginan akibat aktifitas dan jenis pakaian penghuni.

2.5 Perhitungan Beban Pendinginan

Ada banyak faktor yang patut diperhitungkan dalam menentukan besarnya beban pendinginan pada suatu pengkondisian udara. Faktor-faktor ini mempunyai dampak bagi kapasitas sistem, pengendalian, dan perancangan, serta penempatan sistem saluran udara, atau unit-unit terminal. Sebagai contoh, penempatan unit-unit hangat di bawah jendela atau di sepanjang dinding luar dapat mengatasi pengaruh suhu rendah dari permukaan-permukaan tersebut.

Perpindahan kalor melalui suatu selubung bangunan dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, oleh faktor

geometris, seperti ukuran, bentuk, dan orientasinya; adanya sumber-sumber kalor dalam , dan faktor-faktor iklim.

Secara garis besar, beban pendinginan dikalsifikasikan menjadi dua, yaitu beban kalor yang masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan (beban eksternal) dan beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (beban internal). Berikut pembagiannya:

- ❖ Beban eksternal terdiri dari:
 - Beban transmisi melalui dinding luar, atap dan kaca.
 - Beban radiasi matahari melalui kaca
 - Beban infiltrasi
 - Beban ventilasi
- ❖ Beban internal terdiri dari :
 - Beban partisi
 - Beban penerangan
 - Beban penghuni
 - Beban peralatan

Dan ada banyak prosedur perhitungan beban yang telah dikembangkan selama bertahun-tahun. Tetapi perancangan kali ini akan menggunakan hasil yang telah dikembangkan oleh *ASHRAE*.

2.5.1 Beban Transmisi

Beban transmisi adalah beban yang diakibatkan oleh perpindahan panas konduksi yang mengalir dari luar ruangan ke dalam ruangan melalui bagian dinding bagian luar, atap, dan kaca.

Beban transmisi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = U \times A \times CLTD \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

Q = Beban Transmisi melalui dinding, atap, dan kaca (Watt)

U = *Overall heat transfer coefficient* ($W/m^2 K$)

A = Luasan dinding, atap, dan kaca (m^2)

$CLTD$ = *Cooling Load Temperature Difference* (K)

Untuk kondisi berbeda, nilai CLTD dihitung menggunakan koreksi pada persamaan berikut ini:

$$CLTD_c = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk CLTD_c pada atap dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$CLTD_c = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\} \times f \dots\dots(2.3)$$

Sedangkan CLTD pada kaca dihitung menggunakan persamaan:

$$CLTD_c = CLTD + (78-t_R) + (t_o-85) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

CLTD = Perbedaan temperature pendinginan,(K)

Harga CLTD di dapat dari ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

CLTD Atap dapat langsung menggunakan data dari tabel 3.8

CLTD Dinding dapat langsung menggunakan data dari tabel 3.10

CLTD Kaca dapat langsung menggunakan data dari tabel 3.23

LM = Faktor koreksi (Latitude Month)

Harga LM didapat dari Tabel 3.12 ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

K = factor penyesuaian warna dinding.

K = 1 untuk warna gelap atau daerah industri

K = 0,83 untuk warna atap cerah

K = 0,65 untuk warna dinding cerah.

t_R = Temperatur udara ruang rancangan ,(K)

f = Koreksi untuk ceiling ventilation

f = 0,75 untuk attic fan

f = 1 untuk yang lainnya

t_o = Suhu udara luar yang dihitung berdasarkan persamaan :

$$t_o = \{\text{Design Outside Temperature} - (\frac{\text{Daily range}}{2})\} (K)$$

daily range = Temperatur harian rata-rata

2.5.2 Beban Radiasi Matahari Melalui Kaca

Beban radiasi adalah beban yang diperoleh akibat penjaralan energi matahari melalui komponen bangunan yang tembus pandang atau penyerapan oleh komponen bangunan yang tidak tembus cahaya (*opaque building component*). Beban radiasi kaca dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

Q = Beban radiasi melalui kaca (Watt)

$SHGF$ = Faktor panas matahari (W/m^2)

Harga $SHGF$ didapat dari Tabel 3.25 ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

A = Luasan kaca (m^2)

SC = Koefisien bayangan

Harga SC didapat dari Tabel 3.18 ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

CLF = Faktor beban pendinginan untuk kaca.

Harga CLF didapat dari Tabel 3.27 dan Tabel 3.28 ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental

2.5.3 Beban Partisi

Beban partisi merupakan beban kalor yang berasal dari ruangan yang bersebelahan dan tidak dikondisikan. Selama ruangan yang bersebelahan dikondisikan sama temperaturnya, beban partisinya nol. Beban partisi dapat berasal dari langit-langit, dinding, pintu, maupun lantai. Beban partisi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q = U \times A \times T \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana,

Q = Kalor perpindahan panas (Watt)

U = Koefisien seluruh perpindahan panas untuk lantai, partisi, dan langit-langit, ($W/s.m^2.K$)

A = Luas area dari lantai (m^2)

TD = selisih temperatur (K)

2.5.4 Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi diakibatkan oleh perembesan udara luar ke dalam ruangan yang dikondisikan. Masuknya udara luar ke dalam tentu saja akan mempengaruhi suhu udara dan tingkat kelembaban di ruangan tersebut. Dan biasanya dibedakan antara pengaruh yang menyangkut dampak suhu (*temperature effect*) seperti beban sensible dan dampak kelembaban seperti beban laten. Istilah ini berlaku juga pada beban-beban yang lain. Sebagai contoh, beban-beban perambatan dan panas matahari adalah beban sensible, karena beban-beban tersebut hanya berpengaruh pada suhu. Sementara, beban-beban lain dari dalam yang datang dari penghuni mempunyai bagian beban sensible dan beban laten. Kehilangan atau perolehan kalor yang disebabkan oleh masuknya udara luar dirumuskan sebagai berikut:

Untuk beban sensible infiltrasi:

$$Q_s = 1,1 \times \text{CFM} \times \text{TC} \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk beban laten infiltrasi:

$$Q_L = 0,68 \times \text{CFM} \times (\dot{W}_o - \dot{W}_i) \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana:

CFM = harga infiltrasi udara yang masuk, ft^3/min

TC = Perbedaan temperatur antar udara luar dan udara dalam, K

$(\dot{W}_o - \dot{W}_i)$ = *Humidity ratio* dalam dan luar ruangan.

2.5.5 Beban Penerangan

Jumlah perolehan kalor dari ruangan yang disebabkan oleh penerangan tergantung pada daya dan jenis pemasangannya. Energi radiasi dari lampu, mula-mula akan diserap oleh lantai dan peralatan-peralatan didalam ruangan hingga suhunya naik dengan laju yang ditentukan oleh massanya. Oleh karena suhu permukaan-permukaan benda-benda tersebut naik diatas suhu udara, maka dari permukaan-permukaan tersebut kalor dikonveksikan sehingga akhirnya menjadi beban bagi sistem

pendinginan. Berikut merupakan rumusan untuk perhitungan beban penerangan:

$$Q = W \times BF \times CLF \times F_u \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

F_u = Fraksi lampu yang terpasang

BF = Faktor Balast :

BF = 1,2 untuk *fluorescent* biasa, dan BF = 1,0 untuk *incandescent*

CLF = Faktor beban pendinginan untuk lampu

CLF = 1 (Dengan kepadatan tinggi atau 24 jam operasi kerja dan pendinginan dan atau jika pendinginan mati pada malam hari atau selama weekends).

2.5.6 Beban Penghuni

Beban penghuni adalah beban yang disebabkan adanya komponen komponen yang mengisi ruangan tersebut. Dilihat dari berapa banyak penghuni ruangan, total jam, dan kegiatan yang dilakukan oleh penghuni.

Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung beban sensibel dan laten penghuni,

$$Q_s = q_s \times n \times CLF \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk beban laten manusia:

$$Q_L = q_L \times n \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan:

q_s, q_L = Panas sensibel dan laten manusia

n = Banyaknya manusia

CLF = Faktor beban pendinginan untuk manusia

CLF = 1 (Dengan kepadatan tinggi atau 24 jam operasi kerja dan pendinginan dan atau jika pendinginan mati pada malam hari atau selama weekends).

2.5.7 Beban Peralatan

Beban peralatan adalah beban yang diperhitungkan akibat kalor yang keluar dari peralatan peralatan ini yang mempengaruhi

besarnya beban pendinginan. Beban kalor ini dapat dilihat pada tabel yang terlampir.

2.5.8 Beban Pendinginan Total

Beban pendinginan total (*Grand Total Heat/ GTH*) didapatkan dari penjumlahan beban pendinginan total ruangan (*Room Total Heat Gain/ RTHG*) dengan beban pendinginan total udara luar (*Outside Air Total Head/ OATH*). Beban pendinginan ruangan dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu beban pendinginan sensibel (*Room Sensible Heat Gain/ RSHG*) dan beban pendinginan laten (*Room Latent Heat Gain/ RLHG*). Sedangkan beban pendinginan udara luar dibedakan menjadi dua bagian, yaitu beban pendinginan sensibel (*Outside Air Sensible Heat/ OASH*) dan beban pendinginan laten (*Outside Air Latent Heat/ OALH*)

- Total beban sensibel ruangan:

$$RSHG = Q_{transmisi} + Q_{radiasi} + Q_{infiltrasi} + Q_{penghuni} + Q_{peralatan} + Q_{duct} \dots (2.12)$$

- Total beban laten ruangan:

$$RLHG = Q_{infiltrasi} + Q_{penghuni} \dots (2.13)$$

- Total beban pendinginan ruangan:

$$RTHG = RSHG + RLHG \dots (2.14)$$

- Total beban sensibel udara luar:

$$OASH = Q_{ventilasi} + Q_{return duct} \dots (2.15)$$

- Total beban laten udara luar:

$$OALH = Q_{ventilasi} \dots (2.16)$$

- Total beban pendinginan udara luar:

$$OATH = OASH + OALH \dots (2.17)$$

- Total beban pendinginan:

$$GTH = (RSHG + OASH) + (RLHG + OALH) \dots (2.18)$$

2.6 Faktor Keamanan

Faktor keamanan perlu ditambahkan pada beban total pendinginan untuk menjaga kemungkinan terjadi kesalahan dalam survey atau perakitan. Harga faktor keamanan terdapat pada standar *ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating*

and Air-Conditioning Engineers) Fundamental tahun 1997, chapter 28 minimal sebesar 10% dari beban total pendinginan.

2.7 Sistem Pengkondisian Udara

Tujuan dari sistem pengkondisian udara adalah untuk memberikan suatu lingkungan yang nyaman untuk penghuni baik itu penghuni rumah, kantor, rumah sakit, kereta api, dan sebagainya. Lingkungan yang nyaman merupakan hasil bersama dari pengontrolan temperatur, kelembaban, kebersihan, dan distribusi udara yang sampai ke penghuni, termasuk juga mengenai tingkat kebisingan dari suara.

Sistem pengkondisian udara umumnya dibagi menjadi empat golongan utama, yaitu:

- *All air system*
- *Air-water system*
- *All water system*
- *Sistem Unitary*

2.7.1 All Air System

Sistem ini merupakan sistem pengkondisian udara yang paling banyak digunakan. Pada sistem ini, pengkondisi udara dan mesin pendingin berada dalam susunan sebuah Stasiun Sentral Apparatus, dan hanya udara yang telah dikondisikan yang didistribusikan sampai keruangan atau terminal pencampuran udara. Pada sistem ini, sebuah unit sentral aparatus melayani beberapa ruangan.

2.7.2 Air-Water System

Sistem air udara merupakan modifikasi dari sistem udara penuh. Pada sistem ini kombinasi dari air dan udara yang telah dikondisikan di sentral apparatus di distribusikan ke ruangan. Air Handling Unit dapat digunakan sebagai unit terminal ruangan yang biasanya disebut unit induksi. Udara yang didistribusikan oleh sentral aparatus disebut udara primer, sedangkan udara yang berasal dari ruangan yang dihisap oleh unit induksi kemudian melewati coil atau water heater disebut udara sekunder. Beban termal ruangan sebagian besar diatasi oleh air panas atau air

dingin yang disirkulasikan pada Coil Unit Induksi yang berada dalam ruangan yang dikondisikan dan hanya sebagian kecil oleh sentral aparatus. Sistem ini didesain untuk gedung yang memiliki karakteristik panas sensibel yang berlawanan. Misalnya, suatu ruangan memerlukan pendinginan, sedangkan yang lainnya memerlukan pemanasan.

2.7.3 All Water System

Pada sistem air penuh hanya air panas atau dingin yang didistribusikan ke unit fan coil yang berada di ruangan untuk mengatasi beban thermal ruangan. Ventilasi dimasukkan langsung ruangan tanpa terlebih dahulu diproses.

2.7.4 Unitary System

Klasifikasi sistem ini menurut bagaimana fungsi dari sistem ini tetapi bagaimana peralatan sistem ini disusun. Sistem ini terdiri dari komponen pengkondisian udara dan peralatan refrigerasi yang dirakit menjadi satu paket dan lokasinya bisa ditempatkan di dalam dan di luar ruangan yang akan dikondisikan. Sistem ini dapat juga berfungsi sebagai sistem udara penuh, sistem air penuh ataupun sistem udara air. Umumnya sistem ini berfungsi sebagai sistem udara penuh. Secara garis besar, sistem ini dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu jenis paket, jenis jendela dan jenis atap.

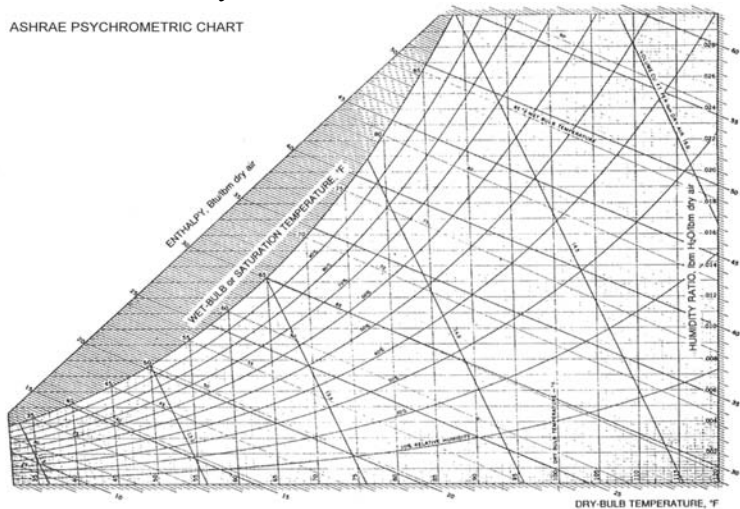
Sistem ini pada umumnya dipergunakan untuk rumah, gedung-gedung yang tidak memerlukan pengaturan temperatur dan kelembaban yang teliti. Selain itu, sistem tersebut banyak dipergunakan sebagai pembantu atau untuk mengatasi keadaan darurat. Apabila sistem pengkondisian udara utama mengalami gangguan.

2.8 Diagram Psikrometrik

2.8.1 Definisi

Udara di atmosfer yang berada disekeliling kita merupakan campuran antara udara kering dan uap air yang dinamakan udara moist. Karena gas campuran ini dikondisikan dalam control sistem alam maka perlu diketahui bagaimana perilaku dari udara moist

tersebut. Psikrometrik adalah ilmu yang mempelajari sifat termodinamika udara lembab dan hubungannya dengan kelembaban dan kenyamanan manusia

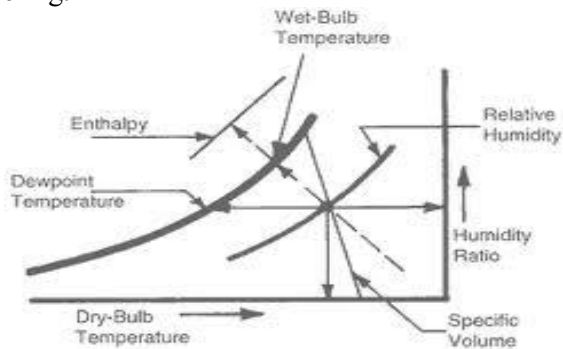


Gambar 2.4 Psychrometric Chart.

Dari gambar diatas kita dapat mengetahui sifat termodinamika dari udara yang ada di atmosfer. Sifat-sifat fisik dari udara di atmosfer didefinisikan sebagai berikut:

- *Dry bulb temperature* (db) adalah temperatur dari udara yang tertera pada thermometer pada saat dilakukan pengukuran pada udara lingkungan.
- *Wet bulb temperature* (wb) adalah temperatur yang tertera pada thermometer dimana thermometer tersebut dilapisi oleh sumbu basah.
- *Dew point temperature* (dp) adalah temperatur dimana uap air dalam udara mulai terkondensasi jika udara dikondensasikan pada temperatur konstan.

- *Humidity ratio* (w) adalah berat uap air per kilogram atau pound. Udara kering dalam satuan lb/lb udara kering atau grain/lb udara kering.
- *Relative humidity* (RH) adalah perbandingan antara fraksi molekul uap air didalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh, diekspresikan dalam %.
- *Specific Volume* (v) adalah volume dari udara per unit berat dari udara kering dalam satuan m³/kg udara kering.
- *Specific enthalpy* (h) adalah kandungan panas dari udara per unit berat udara kering dalam satuan J/Kg udara kering.



Gambar 2.5 Kerangka dari bagan psikrometrik.

2.8.2 Bypass Factor

Bypass Factor adalah suatu fungsi dari fisik dan karakteristik kerja dari apparatus yang ditunjukkan oleh bagian dari udara yang tidak mengalami kontak dengan permukaan apparatus, hal ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.

Pada gambar di atas bagian udara yang tidak mengalami kontak dengan permukaan apparatus ditunjukkan oleh "x" sedangkan bagian yang mengalami kontak dengan permukaan apparatus ditunjukkan oleh (1-x) sehingga gambar di atas dapat diformulasikan suatu persamaan *bypass factor* yaitu

$$BF = \frac{t_2 - t_s}{t_1 - t_s} = \frac{2 - s}{1 - s} = \frac{h_2 - h_s}{h_1 - h_s} \dots\dots\dots(2.19)$$

2.9 Sistem Saluran Udara (Ducting)

Dalam sistem pengkondisian udara sentral, pendistribusian udara yang telah diproses dalam apparatus ke ruangan yang hendak dikondisikan memerlukan media penghantar yang dinamakan saluran udara atau ducting. Saluran udara ini berfungsi untuk menjaga kondisi udara yang telah diproses di apparatus sehingga kondisi yang direncanakan terpenuhi.

Dalam memilih metoda perencanaan saluran udara beberapa aspek perlu diperhatikan, yaitu:

2.9.1 Jenis Saluran Udara

Sistem saluran udara secara umum dapat digolongkan menjadi tiga tipe, yaitu:

2.9.1.1 Sistem Saluran Persegi

Sistem ini lebih populer dibandingkan dengan system lainnya. Sistem ini mudah dibuat, sederhana dalam instalasinya dan tidak membutuhkan space ruangan yang banyak sehingga total cost-nya lebih rendah.

2.9.1.2 Sistem Saluran Tunggal

Pada sistem ini setiap terminal udara supply outlet dihubungkan dengan peralatan pengkondisian udara. Tipe ini banyak digunakan pada sistem pengkondisian udara daerah ganda (multizone). Pemasukan udara kedalam ruangan melalui setiap supply udara outlet dapat diatur dengan mudah, akan tetapi kemudahan ini menyebabkan tingginya biaya instalasinya dan membutuhkan ruang yang cukup besar untuk menempatkan saluran udara tersebut.

2.9.1.3 Sistem Saluran Melingkar

Sistem ini memakai saluran yang menghubungkan dua saluran utama, diperlukan tekanan yang sama disetiap titik sepanjang saluran udara tersebut sehingga keseimbangan aliran udara melalui supply outlet dapat dikompensasikan.

2.10 Klasifikasi Perencanaan Saluran Udara

Klasifikasi perencanaan saluran udara dalam commercial comfort air conditioning dapat dibedakan menurut kecepatan dan tekanan. aliran udara di dalam saluran. Pengklasifikasiannya adalah menurut:

- a. Kecepatannya, pada klasifikasi, jenis ini dibedakan menjadi dua, yaitu:
 - Sistem saluran udara pada kecepatan rendah atau sistem konvensional
 - Sistem saluran udara pada kecepatan tinggi.

Batas kecepatan awal udara supply pada sistem kecepatan rendah berkisar antara (1200-2200) fpm, sedangkan pada sistem kecepatan tinggi bisa mencapai 2500 fpm. Untuk return air system biasanya direncanakan dengan kecepatan antara (1500-1800) fpm. Adapun standar kecepatan maksimum yang direkomendasikan untuk berbagai macam aplikasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Recommended Maximum Duct Velocities for Low Velocity (fpm)

APPLICATION	CONTROLLING FACTOR NOISE GENERATION Main Ducts	CONTROLLING FACTOR—DUCT FRICTION			
		Main Ducts		Branch Ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Residences	600	1000	800	600	600
Apartments Hotel Bedrooms Hospital Bedrooms	1000	1300	1300	1200	1000
Private Offices Director's Rooms Libraries	1200	2000	1500	1600	1200
Theatres Auditoriums	800	1300	1100	1000	800
General Offices High Class Restaurants High Class Stores Banks	1500	2000	1500	1600	1200
Average Store Cafeterias	1800	2000	1500	1600	1200
Industrial	2500	3000	1800	2200	1500

Sumber: Carrier Air Conditioning Company ; Handbook of Air Conditioning System Design

- a. Tekanan, pada klasifikasinya jenis ini dibagi menjadi 3, yaitu:

- Low pressure, sampai 3.75 in Wg.
- Medium pressure, (3.75- 6.75) in Wg.
- High pressure, (6.75- 12.25) in Wg.

Range tekanan tersebut adalah tekanan total yang meliputi losses melalui peralatan pengkondisian udara, saluran udara dan terminal di ruangan.

2.10.1 Metode Penentuan Ukuran Penampang Saluran

Untuk mendapatkan dimensi saluran pendistribusian udara digunakan metode penyelesaian yaitu:

- Equal Friction Method

2.10.2 Equal Friction Method

Pada metoda ini, pressure drop yang terjadi akibat gesekan disepanjang saluran distribusi dijaga konstan. Ukuran saluran utama ditentukan dengan cara yang sama dengan metode pertama, sedangkan besarnya kehilangan energy akibat gesekan pada kondisi tersebut dapat dibaca pada chart.

Dengan laju aliran yang telah diketahui, ukuran saluran disetiap percabangan direncanakan sedemikian sehingga kehilangan energy akibat gesekan tetap sama dengan saluran sebelumnya. Metode ini cocok untuk layout yang simetri. Bila panjang masing-masing percabangan tidak sama, maka pada percabangan yang lebih pendek dilengkapi dengan damper pada setiap terminal.

2.11 Penurunan tekanan didalam saluran lurus persegi

Persamaan dasar untuk menghitung penurunan tekanan fluida yang mengalir melalui saluran udara lurus dengan penampang persegi adalah:

$$\Delta p = f \frac{L}{Deq} \frac{V^2}{2} \dots \dots \dots (2.20)$$

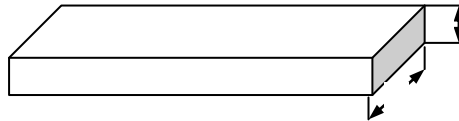
Dimana:

- Δp = penurunan tekanan (Pa)
- F = faktor gesek, tak berdimensi
- L = panjang (m)

- D_{eq} = diameter ekivalen saluran (m)
- V = kecepatan rata-rata aliran fluida ($\frac{m}{s}$)
- P = massa jenis fluida ($\frac{kg}{m^3}$)

Faktor gesekan f adalah fungsi dari bilangan Reynolds dan kekasaran relatif (relative roughness) permukaan pipa (ϵ/D), dengan ϵ adalah kekasaran absolut. Nilai faktor gesekan didapatkan dengan cara mengplotkan bilangan Reynolds dan Relative Roughness pada diagram moody (terlampir). Sedangkan D_{eq} dihitung dengan rumus:

$$D_{eq} = \frac{4 \times \text{luas penampang}}{\text{perimeter}} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b} \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.6 Penampang saluran persegi

Untuk menghitung V menggunakan persamaan

$$V = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana,

- Q = kapasitas aliran udara (m^3/s)
- A = Luas saluran udara (m^2)
- V = kecepatan (m/s)

2.12 Penurunan tekanan didalam sambungan (fitting)

• Pengecilan Penampang

Persamaan Bernoulli digunakan sebagai dasar untuk menghitung penurunan tekanan pada suatu pengecilan penampang.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} \dots \dots \dots (2.23)$$

Karena:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

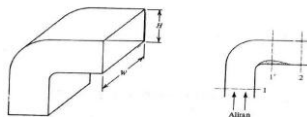
$$P_1 - P_2 = \rho \frac{V_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.24)$$



Gambar 2.7 Aliran melalui bagian saluran yang mengecil.

- **Belokan (*Elbow*)**

Elbow yang paling sering digunakan pada sistem saluran udara adalah jenis elbow 90°. Menurut Weisbach, penurunan tekanan di dalam suatu belokan disebabkan oleh penyempitan penampang pada bagian 1 menuju penampang yang lebih luas 2



Gambar 2.8 Aliran yang memisah didalam suatu belokan

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Pengambilan data tugas akhir ini dilaksanakan di Lantai 3 area food court Gedung Mall ABC di Surabaya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang tepat dari data-data primer tentang evaluasi perhitungan peluang penghematan energi. Penulis melakukan studi literature dan pengamatan langsung di lapangan untuk mendapatkan data yang benar-benar akurat dalam mendukung perhitungan tentang evaluasi perhitungan peluang penghematan energi pada lantai 3 gedung Mall ABC di kota Surabaya.

3.1 Langkah – Langkah Penelitian

3.1.1 Persiapan Awal

Dalam penyusunan laporan penelitian, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan tema atau topic dari tugas akhir ini yakni perhitungan ulang sistem pengkondisian udara pada lantai 3 gedung Mall ABC di kota Surabaya. Kemudian membuat perumusan masalah yang diperlukan untuk merancang metode atau teknik pendekatan yang tepat untuk digunakan sebagai langkah-langkah penelitian dalam menyusun rencana penyelesaian tugas akhir ini.

Pada analisa tentang evaluasi peluang penghematan energy di lantai 3 gedung Mall ABC di kota Surabaya, dibutuhkan pengambilan data yang diperlukan dalam analisa tersebut, yaitu:

a. Studi Literatur

Dalam studi literature ini akan dipelajari buku-buku yang menjadi referensi tentang pengkondisian udara beserta standarisasinya, dan perencanaan instalasi saluran udara. Referensi ini didapatkan dari perusahaan ataupun literatur dari mata kuliah yang berhubungan dengan tujuan pengambilan data tugas akhir ini.

b. Survei Lapangan

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi nyata instalasi serta jenis peralatan yang digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah yang dapat memberikan gambaran secara jelas data-data yang kita perlukan untuk analisa perhitungan.

3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan seperti pada gambar berikut:

a. Laser Distance Meter DT300

Merupakan alat untuk mengukur jarak dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jarak ukur 0.05 m sampai 50 m.
- Mampu mengukur luas hingga 999.00 m².
- Mampu mengukur volume hingga 999.99 m³.
- Tingkat akurasi ± 1.5 mm.
- Dimensi 115 x 48 x 28 mm.



Gambar 3.1 Laser Distance Meter

b. Environmental Meter EN300

Alat ukur lingkungan dengan fungsi dan spesifikasi sebagai berikut:

- Mampu mengukur kecepatan udara (m/s atau ft/s), *humidity* (%), *light* (lux), temperature (°C atau °F) dan *sound level* (db).

- *Humidity* maksimum 80% RH.
- Temperatur 0 – 50 °C.
- Dimensi 248 x 70 x 34 mm.



Gambar 3.2 Environmental Meter

c. Sling Thermometer (Hygrometer)

Hygrometers adalah alat untuk mengukur kandungan air pada udara dalam prosentase RH (%RH). Whirling hygrometers juga disebut sebagai sling psychrometers, digunakan untuk mengukur Temperatur *wet bulb* (Twb) dan *dry bulb* (Tdb) yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan *relative humidity* (RH). Alat ini dirancang untuk diputar dengan tangan untuk memberikan ventilasi yang cukup dan konstan pada bulbs nya. Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut:

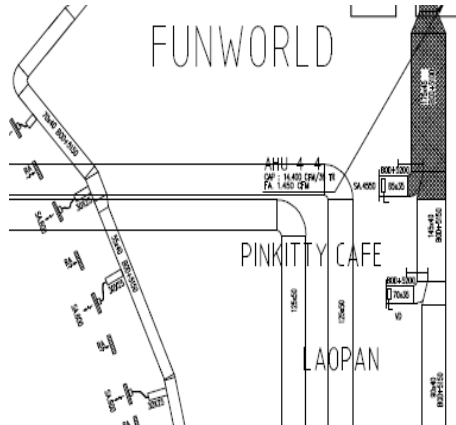
- Merk : Brannan
- Tube Filling : Mercury
- Range : 0 + 50 °C
- Dimensi : 170 x 220 mm



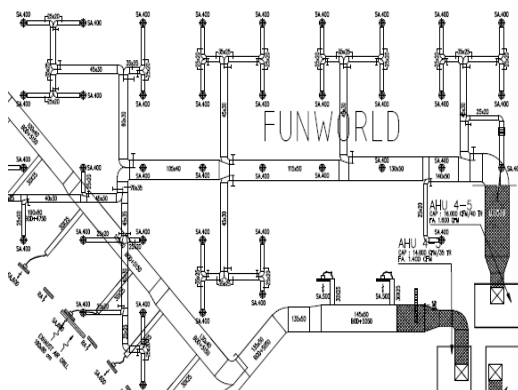
Gambar 3.3 Sling Termometer

3.2 Denah

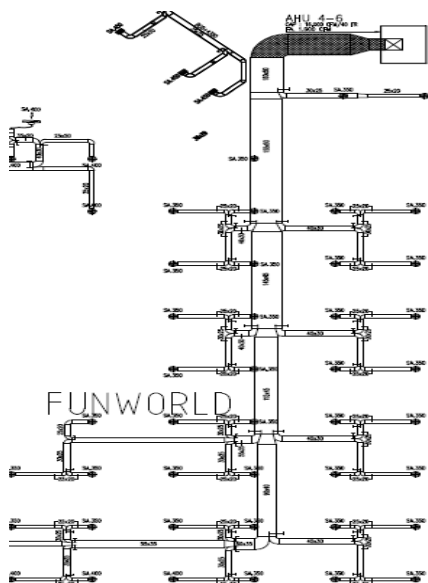
- Denah AHU Mall ABC di Lantai 3



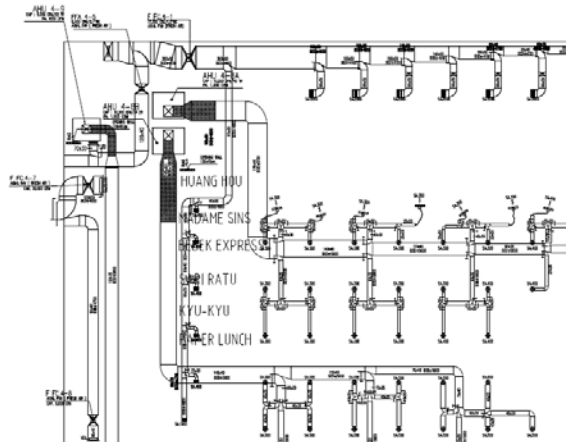
Gambar 3.4 AHU 4-4



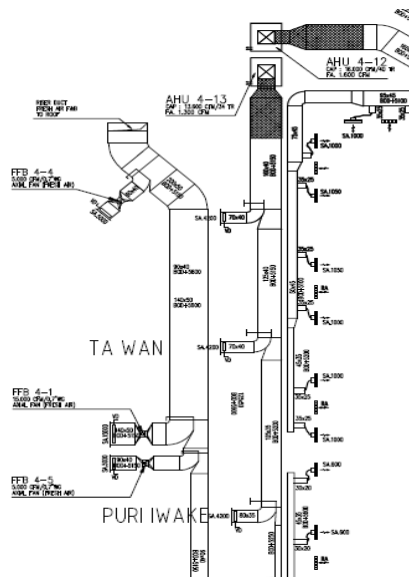
Gambar 3.5 AHU 4-3 dan AHU 4-5



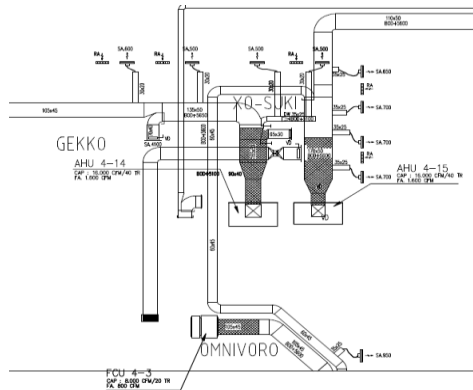
Gambar 3.6 AHU 4-6



Gambar 3.7 AHU 4-8 dan AHU 4-9



Gambar 3.8 AHU 4-12 dan AHU 4-13



Gambar 3.9 AHU 4-14 dan AHU 4-15

3.3 Data Hasil Survei

Setelah dilakukan survei salah satu Mall di Surabaya, maka diperoleh data-data sebagai berikut:

3.3.1 Data Umum

- Objek Penelitian : Lantai 3 salah satu Gedung Mall ABC di Surabaya
- Lokasi : Jl. Mayjen sungkono Surabaya
- Letak Geografis: $7^{\circ}17'34.7''$ LS dan $112^{\circ}43'09.6$ BT
- Arah Gedung : Utara
- Fungsi Gedung : Komersial
- Jam Kerja : 10.00 – 22.00 WIB (12 jam)
- Warna Dinding : *Light Color* (Cerah)
- Jenis Kaca : *Single Glass*
- Jarak lantai-atap : ± 7.0 m

3.3.2 Data Chiller

Untuk spesifikasi umum dan kapasitas masing – masing *water chiller* diuraikan sebagai berikut:

- a. *Centrifugal chiller* 1 : 414 kW
Kapasitas pendinginan : 750 TR

- | | | |
|----|------------------------------|---------------|
| | Refrigerant | : R134a |
| b. | <i>Centrifugal chiller 2</i> | : 414 kW |
| | Kapasitas pendinginan | : 750 TR |
| | Refrigerant | R134a |
| c. | <i>Screw chiller 1</i> | : 301 kW |
| | Kapasitas pendinginan | : 350TR |
| | Refrigerant | : HFC – R134a |
| d. | <i>Screw chiller 2</i> | : 301 kW |
| | Kapasitas pendinginan | : 320TR |
| | Refrigerant | : HFC – R134a |
| e. | <i>Absorbtion chiller</i> | : 301 kW |
| | Kapasitas pendinginan | : 1000TR |
| | Refrigerant | : LiBr |

3.3.3 Data Air Handling Unit

- AHU 4-1 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-2 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-4 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-5 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-6 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-8 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 124 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-9 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-10 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 153 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-11 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-12 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz

- AHU 4-13 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 120 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-14 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 140 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-15 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 140 KW – 380V/3Ø/50Hz
- AHU 4-16 : Merk PT. ITU AIRCON CO. MOTOR 127 KW – 380V/3Ø/50Hz

Tabel 3.1 AHU pada Lantai 3 Mall ABC Surabaya

Unit	Kapasitas (cfm)	TR	FA	air supply temperature (°F)	pressure supply	air return temperature (°F)	pressure return	Temp. Udara di Coil (°F)			
								EDB	EWB	LDB	EWB
AHU 4-1	16000	40	1600	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9
AHU 4-2	16000	40	1600	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9
AHU 4-4	14400	36	1450	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-5	16000	40	1600	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9
AHU 4-6	16000	40	800	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9
AHU 4-8	11000	40	1200	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-9	10200	34	1200	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-10	12000	22	1200	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-11	12000	43,5	1600	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-12	16000	40	1600	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9
AHU 4-13	10050	34	1600	48	4,1	64	4	80	67	54,1	53,9
AHU 4-14	16000	40	1500	48	4,3	64	4,2	80	67	54,1	53,9
AHU 4-15	16000	40	1600	48	4,3	64	4,2	80	67	54,1	53,9
AHU 4-16	16000	40	1400	48	4,2	64	4,1	80	67	54,1	53,9

3.3.4 Kondisi ruangan

Jumlah ruangan yang dikondisikan dengan menggunakan AHU memiliki 24 ruangan dengan spesifikasi luas ruangnya sebagai berikut

Tabel 3.2 Luas tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3

No	Unit	Tenant	Luas (m ²)	Luas (ft ²)
1	AHU 4-1	SHILIN	48,50	522,05
		LOLY POLY	36,47	392,56
		LAOPAN	114,50	1232,48
		CHIBILAND	127,04	1367,46
2	AHU 4-2	SUSHI TEI	334,71	3602,82
3	AHU 4-4	FUN WORLD	1864,40	20068,40
		FIRST LOVE PATTISERIE	53,06	571,14
		LAOPAN	114,50	1232,48
4	AHU 4-5	FUN WORLD	1864,40	20068,40
5	AHU 4-6	FUN WORLD	1864,40	20068,40
6	AHU 4-8	PAPER LUNCH	33,20	357,36
		SARI RATU	24,63	265,12
		BEBEK EXPRESS	24,86	267,59
		KULINER ANEKA TUJAK	17,39	187,19
		HUANG HOU	18,15	195,37
		CABE RAWIT	35,44	381,48
		KEDAI BABA LIEM	35,62	383,41
		KEDAI SIMBOK	35,51	382,23
		DONER	35,75	384,81
		KFC	70,53	759,18
		WAHKEE	31,72	341,43
		NASI UDUK	14,94	160,81
		KEN KEN BIGU	15,18	163,40
7	AHU 4-9	PIZZA HUT	215,60	2320,72
8	AHU 4-10	PIZZA HUT	215,60	2320,72
		THE DUCK KING	281,80	3033,30
9	AHU 4-11	THE DUCK KING	281,80	3033,30
10	AHU 4-12	BENTOYA	111,73	1202,66
11	AHU 4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	123,68	1331,29
		TA WAN	129,18	1390,49
		PURI IWAKE	128,08	1378,65
		HUNGRY JEFF	104,87	1128,82
12	AHU 4-14	HUNGRY JEFF	104,87	1128,82
		GEKKO	112,85	1214,72
		X.O XUKI	88,19	949,28
13	AHU 4-15	DE'EXCELSO	148,36	1596,95
14	AHU 4-16	MY KOPI-O	170,91	1839,68

3.3.5 Data Temperatur tiap Ruangan

Tabel 3.3 Data temperatur tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3

No	Unit	Tenant	Ruangan			
			Temperature (°C) atau Tdb	Temperatur (°F) atau Tdb	RH	Twb
1	AHU 4-1	SHILIN	25,4	77,72	67,4	21
		LOLY POLY	23,7	74,66	62,7	20
		LAOPAN	24,6	76,28	76,7	22
		CHIBILAND	28,3	82,94	62,8	20
2	AHU 4-2	SUSHI TEI	23,6	74,48	67	23
3	AHU 4-4	FUN WORLD	22,4	72,32	58,8	22
		FIRST LOVE PATTISERIE	23,1	73,58	75,5	21
		LAOPAN	24,6	76,28	76,7	22
4	AHU 4-5	FUN WORLD	22,4	72,32	58,8	22
5	AHU 4-6	FUN WORLD	22,4	72,32	58,8	22
6	AHU 4-8	PAPER LUNCH	26,5	79,7	65	20
		SARI RATU				
		BEBEK EXPRESS				
		KULINER ANEKA TUJAK				
		HUANG HOU				
		CABE RAWIT				
		KEDAI BABA LIEM				
		KEDAI SIMBOK				
		DONER				
		KFC				
		WAHKEE				
		NASI UDUK				
		KEN KEN BIGU				
7	AHU 4-9	PIZZA HUT	20,8	69,44	71,7	20,75
8	AHU 4-10	PIZZA HUT	20,8	69,44	71,7	20,75
		THE DUCK KING	23,2	73,76	73,6	20
9	AHU 4-11	THE DUCK KING	23,2	73,76	73,6	20
10	AHU 4-12	BENTOYA	22,9	73,22	70	22
11	AHU 4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	25	77	82,9	22,3
		TA WAN	25,2	77,36	83	22
		PURI IWAKE	25,1	77,18	73,3	22,75
		HUNGRY JEFF	24,8	76,64	94,5	21,5
12	AHU 4-14	HUNGRY JEFF	24,8	76,64	94,5	21,5
		GEKKO	27,4	81,32	63,5	20
13	AHU 4-15	X.O XUKI	23,9	75,02	84,1	22,25
		DE'EXCELSO	23,5	74,3	67	22,25
14	AHU 4-16	MY KOPI-O	24,3	75,74	66,9	20,25

3.3.6 Kondisi Udara Lingkungan Luar

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari BMKG Juanda, kondisi terpanas untuk daerah Surabaya pada bulan Oktober adalah sebagai berikut :

Tabel 3.4 Kondisi rancangan udara luar

Uraian	Keterangan
Temperatur udara luar rancangan	35°C
<i>Relative Humidity</i> (kelembaban relative)	70%

3.4 Beban Ruang

Beban ruangan yang dikondisikan adalah beban dari luar (eksternal) dan beban dari dalam (internal). Beban eksternal adalah beban kalor yang melalui dinding kaca, sedangkan beban internal adalah beban kalor dari orang, lampu, dan peralatan elektronik lainnya.

3.5 Beban Penghuni

Merupakan beban internal yang dihitung menurut jumlah pengunjung yang mendatangi mall ABC Surabaya. Beban penghuni dihitung dari jumlah penghuni, kegiatan yang dilakukan, dan berapa penghuni melakukan kegiatan.

Tabel 3.5 Jumlah pengunjung tiap ruangan Mall ABC di Lantai 3

AHU	Tenant	q_s (BTU/Hr)	q_t (BTU/Hr)	$n_{weekdays}$			Sensible Heat CLF For	Total Penghuni
				11.00	16.00	19.00		
4-1	LAOPAN	255	325	14	23	26	1	63
	SHILIN	255	325	12	18	26	1	56
	LOLY POLY	315	325	8	12	20	1	40
	CHIBILAND	315	325	8	18	24	1	50
4-2	SUSHI TEI	255	325	28	40	45	1	113
4-3	KORIDOR	255	325	25	35	45	1	105
4-4	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166
	FIRST LOVE PATTISERIE	255	325	15	30	24	1	69
	LAOPAN	255	325	14	23	26	1	63
4-5	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166
4-6	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166
4-8	FOOD WAVE	255	325	296	442	612	1	1350
4-9	PIZZA HUT	255	325	28	32	38	1	98
	EGA PASTRY	255	325	8	18	24	1	50
	LYNETTE	255	325	8	12	20	1	40
4-10	THE DUCK KING	255	325	30	40	55	1	125
	PIZZA HUT	255	325	28	32	38	1	98
4-11	THE DUCK KING	255	325	30	40	55	1	125
4-12	BENTOYA	255	325	18	30	40	1	88
4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	255	325	14	30	36	1	80
	TA WAN	255	325	13	21	42	1	76
	PURI IWAKE	255	325	12	23	33	1	68
	HUNGRY JEFF	255	325	14	24	43	1	81
4-14	HUNGRY JEFF	255	325	14	24	43	1	81
	GEKKO	255	325	12	24	26	1	62
	X.O XUKI	255	325	33	75	120	1	228
4-15	DE'EXCELISO	255	325	20	35	55	1	110
4-16	MY KOPI-O	255	325	20	40	60	1	120

3.6 Beban Lampu

Berikut adalah tabel jumlah lampu dan jenis lampu yang digunakan pada Mall ABC Surabaya :

Tabel 3.6 Tabel Jumlah Lampu Mall ABC di Lantai 3

No	Unit	Tenant	Jenis Lampu
1	AHU 4-1	SHILIN	TL T5 Essential
			DOWN LIGHT HALLOGEN 1 x 5 Watt
		LOLY POLY	Philip TL T5
			Downlight PLC 2 x 14 Watt
			Downlight PLC 2 x 13 Watt
		TA WAN	MASTER PL-C 26W/835/2P ICT
			Essential Halogen (Twistline Alu)
			Philip TLD
		LAOPAN	DOWNLIGHT PLC 1 x 13 Watt
			Downlights PLC 1 x 20 Watt
			Downlight Square
			Spot Light

2	AHU 4-2	SUSHI TEI	Downlight PLC 1 x 18 Watt Philip TL T5
3	AHU 4-4	FUN WORLD	Philips Tornado
			Philips Genie
			Philip TL T5
		FIRST LOVE PATTISERIE	Philip TL T5
			Downlight DOWNLIGHT PLC 1 x 18 Watt Scrabble
LAOPAN	Essential Halogen (Twistline Alu)		
	Philip TLD DOWNLIGHT PLC 1 x 13 Watt		
4	AHU 4-5	FUN WORLD	Philips Tornado Philips Genie Philip TL T5
5	AHU 4-6	FUN WORLD	Philips Tornado Philips Genie Philip TL T5
6	AHU 4-8	Food Wave	FLOODLIGHT 2x26 W/PL-C
			FLOODLIGHT 1x26 W/PL-C
			SPOTLIGHT 35 W/CDM-R20/SP/WDL
			Downlight PLC 1 x 18 Watt
7	AHU 4-9	PIZZA HUT	Philip TL T5
			Downlight PLC 2x14 Watt
			Ambiance Reflector
8	AHU 4-10	PIZZA HUT	Philip TL T5
			Downlight PLC 2x14 Watt
			Ambiance Reflector
		THE DUCK KING	Downlight PLC 2x13 Watt
			Philip TLD Ambiance Reflector
9	AHU 4-11	THE DUCK KING	Downlight PLC 2x13 Watt Philip TLD Ambiance Reflector
10	AHU 4-12	BENTOYA	Philips Essential Plus Dichroic TL T5 zonder armatuur
11	AHU 4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	LED Recessed Lighting Fixture DOWNLIGHT HALLOGEN DICHROIC
		TA WAN	Downlight PLC 2 x 13 Watt
			MASTER PL-C 26W/835/2P ICT
		PURI IWAKE	Philips TLD DOWN LIGHT HALLOGEN
		HUNGRY JEFF	Downlight PLC 1 x 14 Watt
Downlight PLC 2 x 14 Watt Downlights Halogen			
12	AHU 4-14	HUNGRY JEFF	Downlight PLC 2 x 14 Watt Downlights Halogen
		GEKKO	Philip TL T5
			Downlight PLC 1 x 18 Watt
		X.O XUKI	Downlights PLC 2 x 18 Watt
13	AHU 4-15	DE'EXCEL SO	Downlight PLC 1 x 18 Watt Philip TL T5
14	AHU 4-16	MY KOPI-O	Downlights PLC 2 x 18 Watt

3.7 Beban Peralatan Elektronik

Berikut adalah peralatan elektronik yang digunakan tiap tenant di Mall ABC Surabaya yang merupakan beban internal :

Tabel 3.7 Jumlah Peralatan Elektronik yang Digunakan tiap tenant

No	Unit	Tenant	Peralatan Elektronik
1	AHU 4-1	SHILIN	Komputer, Magiccom, Kulkas(2), Freezer, Kompor Gas(3), Komputer, Mesin Kasir
		LOLY POLY	Komputer, Speaker, Printer, Telepon
		LAOPAN	Magiccom(2), Kulkas, Freezer, Dispenser, Mesin Kasir, Suit Case(2), LCD
		CHIBILAND	Komputer, Telepon, Printer Kecil
2	AHU 4-2	SUSHI TEI	Komputer, Printer, Chiller(3), Freezer, Magiccom(2), Microwave
3	AHU 4-4	FIRST LOVE PATTISERIE	Komputer, Printer, Mixer, Chiller Display(2), Dispenser, Suit Case, Mesin Kopi, Blender(2), Freezer, Chiller, LED
		LAOPAN	Magiccom(2), Kulkas, Freezer, Dispenser, Mesin Kasir, Suit Case(2), LCD
4	AHU 4-8	PAPER LUNCH	Ice Maker, Komputer, Dispenser(2), Kompor Listrik(2), chiller(3), Money detector, Rice cooker(2), Freezer(3), rice roobot, LCD, DVD, Mesin Kasir, Diswash Machine, Microwave, Pisau Warmer
		SARI RATU	Komputer, Chiller(2), Dispenser, Magic Jar
		BEBEK EXPRESS	Kulkas(4), Komputer, Warner Rice, Freezer, Dispenser
		KULINER ANEKA TUJAK	Kulkas(2), Mesin Kasir, Magic Com, Kompor Listrik
		HUANGHOU	Magic Com(3), Komputer, Steamer, Printer Kecil, Kulkas(2), Microwave
		CABE RAWIT	Mesin Kasir, Kulkas(2), Magic com, Rice Cooker, Blander, Dispenser
		KEDAI BABA LIEM	Kulkas, Mesin Kasir, Kompor Biasa, Freezer, Dispenser, Blender, Magic com
		KEDAI SIMBOK	Komputer, Printer, Kulkas(3), Freezer, Blender, Heater, Magic com, CCTV+Layar
		DONER	Kompor Listrik, Kulkas, Mesin Kasir
		KFC	Komputer(3), Printer(2), Ice Cream, Mesin Pepsi, Warner, Chiller, Freezer, Kompor Gas(2), Kompor Listrik, Rice Cooker, Holding Cabinet, Suit Case(2)
		WAHKEE	Komputer, Suit Case(2), Freezer, Mesin Pencuci, Magic com, Printer
		NASI UDUK	Mesin Kasir, Suit Case, Magic com, Kompor Listrik(2)
		KEN KEN BIGU	Kulkas, Mesin Kasir, Suit Case, Magic com, Kompor Listrik(2)

5	AHU 4-9	PIZZA HUT	Chiller Salad, Coffe Machine, Cold Dispenser(2), Dispenser, Oven, Komputer(3), Printer(3), Chiller(4), Freezer(3), Magicom(2), Blender(2), Warmer, Suit Case, Microwave, Plate Warmer, Mixer Besar, Roller walk in chiller, Diswashing Machine
6	AHU 4-10	PIZZA HUT	Chiller Salad, Coffe Machine, Cold Dispenser(2), Dispenser, Oven, Komputer(3), Printer(3), Chiller(4), Freezer(3), Magicom(2), Blender(2), Warmer, Suit Case, Microwave, Plate Warmer, Mixer Besar, Roller walk in chiller, Diswashing Machine
		THE DUCK KING	Komputer(2), Magicom(2), Chiller(6), Freezer, Blender, Microwave, Oven, Printer,
7	AHU 4-11	THE DUCK KING	Komputer(2), Magicom(2), Chiller(6), Freezer, Blender, Microwave, Oven, Printer,
8	AHU 4-12	BENTOYA	Komputer(2), Magicom(2), Chiller(3), Freezer, Blender, Microwave, Oven, Printer,
9	AHU 4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	Dispenser, Magicom(3), Suit Case(2), Blender(2), Coffe Machine, Oven, Komputer(2), Printer(2), Freezer(2), Juicer
		TA WAN	Komputer, Printer Bill, Dispenser, Blender(2), Chiller(2), Freezer(2), Magic com
		PURI IWAKE	Komputer, Printer, Dispenser, Magicom(2), Blender(2), Chiller(3), Freezer, Serut Es
		HUNGRY JEFF	Komputer(3), Printer(3), Dispenser, Magicom, Blender(2), Chiller, Freezer(3), Mesin Kopi,
10	AHU 4-14	HUNGRY JEFF	Komputer(3), Printer(3), Dispenser, Magicom, Blender(2), Chiller, Freezer(3), Mesin Kopi,
		GEKKO	Komputer(3), Printer, TV(2), Mesin Kopi, Blender(2), Chiller(2), Oven, Water Boiler, Microwave(2), Mixer, Chiller Kecil(2), Kompor Gas, Magicom, Frier, Sound, SuitCase
		X O XUKI	Komputer(2), Printer, Dispenser, Magicom, Suit Case(2), Chiller(4), Blender, Freezer, Microwave, Penggorengan Listrik(2)
11	AHU 4-15	DE'EXCELSO	Warmer Display, Komputer, Printer, Laptop, Microwave, Blender(4), Coffe Machine(2), Chiller(3), Freezer(5), Faximile, Oven(2), Dispenser, Salamander Heating, Toaster, Penggiling Kopi, LED, Wifi, DVD
12	AHU 4-16	MY KOPI-O	Komputer, Printer Besar, Faximile, Frier Electric, Mixer, Blender(2), Penggiling Kopi, Freezer Kecil, Coffe Machine, Freezer Besar, Chiller(2), Magicom, Slicer Beef, Kompor Listrik, Freezer Ice Cream

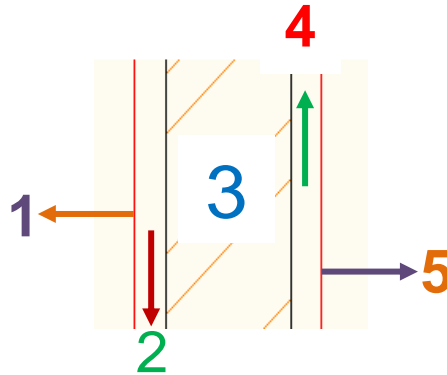
3.8 Data Konstruksi (Atap, Dinding, Kaca)

3.8.1 Atap

Karena lantai 3 berada di ke 4 dari 7, maka tidak memiliki atap yang terkena sinar matahari

3.8.2 Dinding dan Kaca

Dinding pada gedung Mall ABC ini memiliki dua jenis, yakni jenis dinding Hb1 dan jenis dinding Hb2. Yang membedakan antara Hb1 dan Hb2 adalah tebal common brick yang digunakan. Konstruksi dinding akan dijelaskan pada gambar berikut



Gambar 3.10 Konstruksi Dinding Hb1 dan Hb2

Tabel 3.8 Konstruksi Bahan Dinding Hebel 1 (Hb1)

No.	Bahan	R (hr.ft ² .°F)/Btu
1.	Outside surface resistance	0.333
2.	Cement plaster, sand aggregate 1.5-in	0.3
3.	Common brick 4-in	0.8
4.	Cement plaster, sand aggregate 1.5-in	0.3
5.	Inside surface resistance	0.685
TOTAL		2.418
Nilai U (Btu/hr.ft ² .°F)		0.414

Tabel 3.9 Konstruksi Bahan Dinding Hebel 2 (Hb2)

No.	Bahan	R (hr.ft ² .°F)/Btu
1.	Outside surface resistance	0.333
2.	Cement plaster, sand aggregate 1.5-in	0.3
3.	Common brick 3-in	0.6
4.	Cement plaster, sand aggregate 1.5-in	0.3
5.	Inside surface resistance	0.685
TOTAL		2.218
Nilai U (Btu/hr.ft ² .°F)		0.451

Dari Tabel 3.11 *ASHRAE Cooling Load Manual* halaman 3.22 didapat harga resistansi dari masing-masing bahan penyusun dinding, kemudian nilai U yang telah diperoleh dibandingkan dengan tabel 3.9 *ASHRAE Cooling Load Manual* halaman 3.20, maka diperoleh Grup D. Luas dinding tiap tenant pada Lantai 3 Mall ABC di kota Surabaya sebagai berikut:

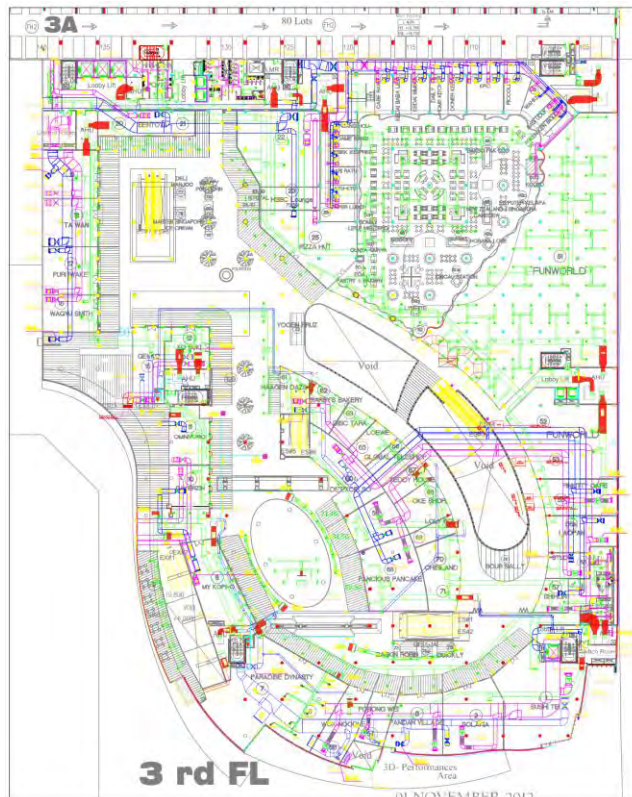
Tabel 3.10 Luas Dinding dan Kaca tiap Tenant pada Lantai 3 Mall ABC Surabaya

No	Unit	Tenant	Posisi	Panjang(ft)	Tinggi (ft)	Luas (ft ²)	Jenis Dinding
1	AHU 4-1	SHILIN	N	25,87	22,97	594,17	Hb1
			S	16,00	22,97	367,43	Hb1
			E	34,89	22,97	801,40	-
			W	34,89	22,97	801,40	Hb1
		LOLY POLY	SW	13,74	22,97	315,59	-
			SE	32,26	22,97	740,81	Hb2
			NE	10,30	22,97	236,61	Hb1
			NW	1,65	22,97	37,90	Hb2
		LAOPAN	N	25,35	22,97	582,19	Hb2
			S	47,74	22,97	1096,34	Hb2
			E	21,90	22,97	503,07	-
			W	21,90	22,97	503,07	Hb1
		CHIBILAND	N	56,39	22,97	1295,20	Hb2
			S	31,18	22,97	716,10	Hb2
			E	56,39	22,97	1295,20	Hb1
			W	20,70	22,97	475,49	-
2	AHU 4-2	SUSHI TEI	N	26,66	22,97	612,33	Hb1
			SE	40,52	22,97	930,71	-
			E	54,36	22,97	1248,40	Hb2
			W	34,89	22,97	801,40	Hb1
			N	6,562	22,967	150,7095	Kaca Single Glass
			-				
			-				
			W	6,562	22,967	150,7095	Kaca Single Glass

3	AHU 4-4	FUN WORLD	N	56,44	22,97	1296,18	Hb2
			S	52,50	22,97	1205,68	Hb2
			E	52,50	22,97	1205,68	-
			W	52,50	22,97	1205,68	Hb1
		FIRST LOVE PATTISERIE	N	31,09	22,97	714,06	Hb1
			S	25,35	22,97	582,19	Hb2
			E	18,54	22,97	425,75	-
			W	18,54	22,97	425,75	Hb1
		LAOPAN	N	25,35	22,97	582,19	Hb2
			S	47,74	22,97	1096,34	Hb2
			E	21,90	22,97	503,07	-
			W	21,90	22,97	503,07	Hb1
4	AHU 4-5	FUN WORLD	N	78,74	22,97	1808,51	Hb2
			S	52,50	22,97	1205,68	Hb2
			E	52,50	22,97	1205,68	-
			W	104,99	22,97	2411,35	Hb1
6	AHU 4-9	PIZZA HUT	NE	66,18	22,97	1520,06	Kaca Single Glass
			S	101,72	22,97	2336,22	Kaca Single Glass
			NW	19,69	22,97	452,13	Kaca Single Glass
			W	27,61	22,97	634,19	Kaca Single Glass
7	AHU 4-10	PIZZA HUT	NE	66,18	22,97	1520,06	Kaca Single Glass
			S	#REF!	22,97	#REF!	Kaca Single Glass
			NW	19,69	22,97	452,13	Kaca Single Glass
			W	27,61	22,97	634,19	Kaca Single Glass
		THE DUCK KING	N	42,74	22,97	981,57	Hb2
			S	70,70	22,97	1623,82	Hb2
			E	72,18	22,97	1657,80	-
			W	78,74	22,97	1808,51	Hb1
8	AHU 4-11	THE DUCK KING	N	42,74	22,97	981,57	Hb2
			S	70,70	22,97	1623,82	Hb2
			E	72,18	22,97	1657,80	-
			W	78,74	22,97	1808,51	Hb1
9	AHU 4-12	BENTOYA	N	69,60	22,97	1598,58	Kaca Single Glass
			S	69,60	22,97	1598,58	Hb1
			E	17,02	22,97	390,79	Hb1
			W	17,02	22,97	390,79	Kaca Single Glass

10	AHU 4-13	BLUE BASIL TAHI CUISINE	N	38,43	22,97	882,55	Hb1
			S	38,43	22,97	882,55	Hb2
			E	34,65	22,97	795,75	Hb1
			W	34,65	22,97	795,75	-
		TA WAN	N	38,43	22,97	882,55	Hb2
			S	38,43	22,97	882,55	Hb2
			E	34,61	22,97	794,99	Hb1
			W	34,61	22,97	794,99	-
		PURI IWAKE	N	39,21	22,97	900,49	Hb2
			S	39,21	22,97	900,49	Hb2
			E	34,61	22,97	794,99	Hb1
			W	34,61	22,97	794,99	-
		HUNGRY JEFF	N	53,97	22,97	1239,59	Kaca Single Glass
			S	39,21	22,97	900,49	Hb2
			E	26,25	22,97	602,84	Hb2
			W	26,25	22,97	602,84	Kaca Single Glass
11	AHU 4-14	HUNGRY JEFF	N	53,97	22,97	1239,59	Kaca Single Glass
			S	39,21	22,97	900,49	Hb2
			E	26,25	22,97	602,84	Hb2
			W	26,25	22,97	602,84	Kaca Single Glass
		GEKKO	N	14,19	22,97	325,91	Kaca Single Glass
			S	21,40	22,97	491,49	-
			E	51,28	22,97	1177,79	Kaca Single Glass
			W	14,19	22,97	325,91	Hb2
		X.O XUKI	N	26,25	22,97	602,84	Hb1
			S	26,25	22,97	602,84	-
			E	26,25	22,97	602,84	Hb2
			W	26,25	22,97	602,84	-
12	AHU 4-15	DE'EXCELS O	SW	69,80	22,97	1603,17	Hb1
			SE	30,84	22,97	708,26	Hb1
			NE	69,80	22,97	1603,17	-
			NW	30,84	22,97	708,26	Hb2
13	AHU 4-16	MY KOPI-O	SE	28,09	22,97	645,11	Kaca Single Glass
			NW	31,02	22,97	712,40	Hb2
			NE	51,84	22,97	1190,60	Hb2
			SW	51,84	22,97	1190,60	-

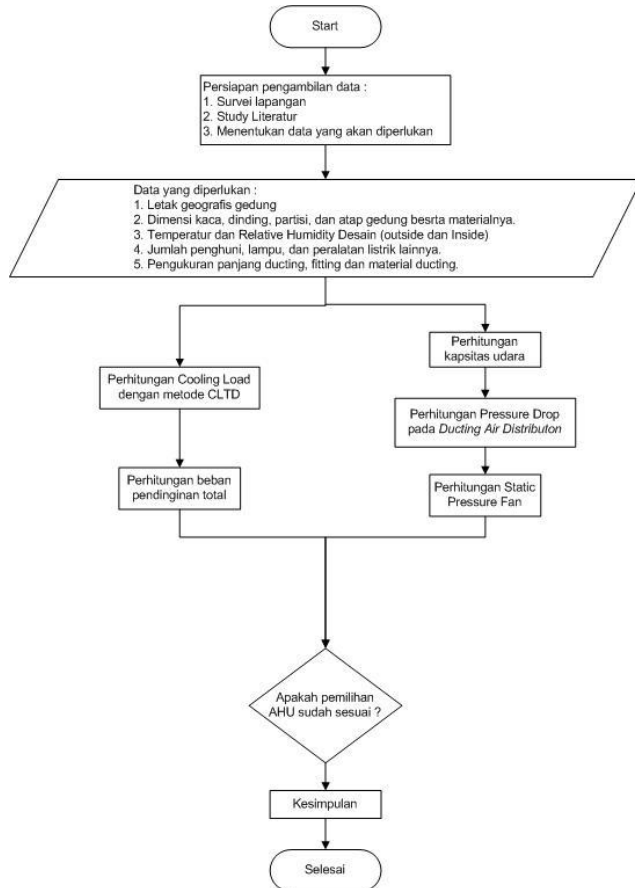
3.9 Layout Food Court



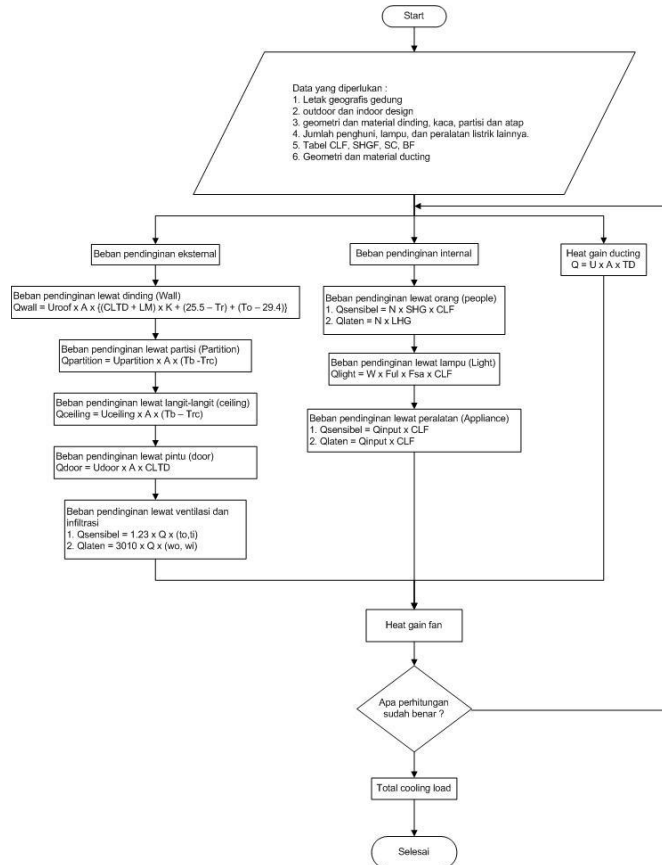
Gambar 3.11 Denah Lantai 3 Mall Di Surabaya

3.10 Flowchart

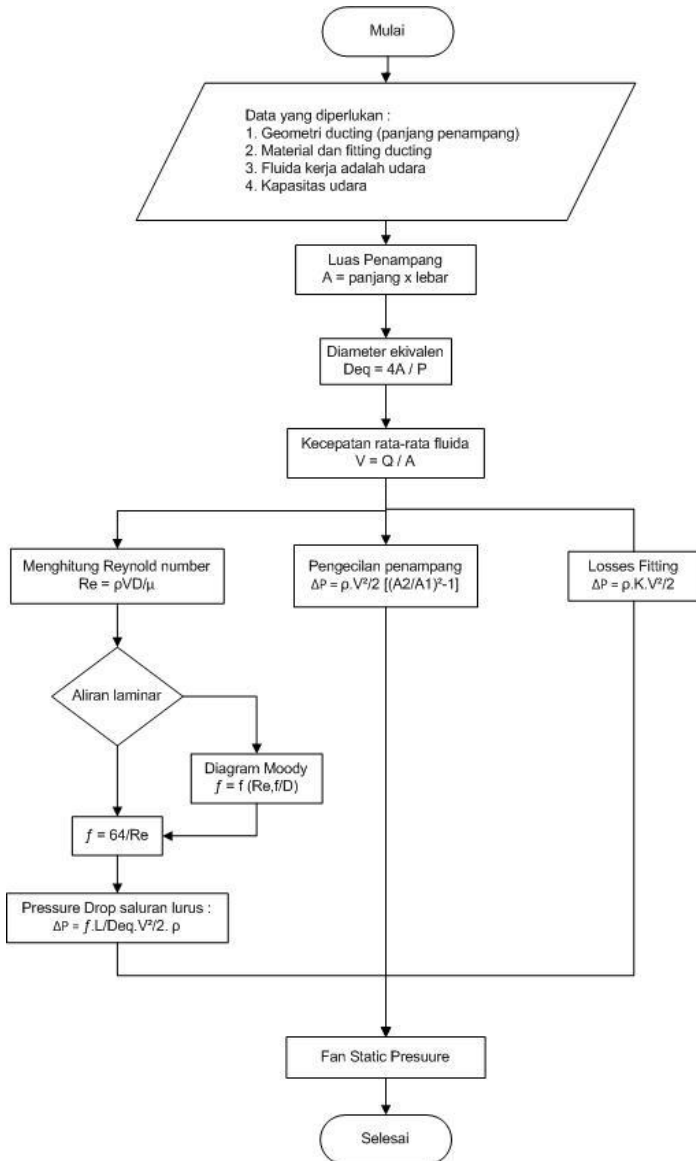
3.10.1 Langkah Perencanaan



3.10.2 Flowchart perhitungan beban pendinginan



3.10.3 Flowchart Perhitungan Static Pressure Fan



BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Beban Pendinginan

Beban pendinginan adalah sejumlah panas yang berada didalam ruangan dan harus dihilangkan untuk menjaga agar udara didalam ruangan tetap pada kondisi nyaman. Secara garis besar, beban pendinginan dibagi menjadi dua bagian yaitu, beban kalor ruangan (*Room Total Heat Gain*) dan beban kalor peralatan pengkondisian udara (*Refrigeration Cooling Load*). Beban kalor ruangan sendiri terdiri dari beban eksternal dan beban internal dimana didalamnya akan terdapat beban kalor sensibel dan beban kalor laten. Perhitungan beban pendinginan bisa dilakukan dengan beberapa metode dan diantaranya adalah metode CLTD. Metode ini diperkenalkan oleh *ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers)* pada tahun 1977 dimana metode ini sudah mencakup *storage effect* pada struktur dan konstruksi bangunan. Berdasarkan metode tersebut, ditentukan data – data yang diperlukan untuk perhitungan beban pendinginan, antara lain :

- 1) Bulan perencanaan : Oktober 2014 (memiliki temperature *outside* tertinggi)
- 2) Letak geografis gedung 07°17'34,7" LS, 112°43'09,6" BT
- 3) Temperatur ruang rancangan : 73,4 °F, RH : 50%
- 4) Temperatur luar rancangan : 95°F, RH : 70% (BMKG Juanda)

Pada perhitungan beban pendinginan dengan metode CLTD menggunakan tabel ASHRAE. Data-data yang terdapat pada tabel *ASHRAE* diperuntukkan untuk daerah yang terletak di daerah Lintang Utara, sedangkan gedung Mall ini terletak di Lintang Selatan sehingga bulan yang dipilih ditambah 6 bulan dari bulan rancangan. Pada perancangan ini dirancang pada bulan Oktober sehingga data yang diambil pada tabel *ASHRAE* adalah

bulan April. Sedangkan untuk arah mata angin agar tabel-tabel tersebut dapat digunakan untuk daerah yang berlokasi di Lintang Utara maka arah mata anginnya perlu disesuaikan dengan Lintang Selatan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Penyesuaian Arah Mata Angin

Lintang Utara	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Lintang Selatan	S	SE	E	NE	N	NW	W	SW

4.1.1 Perhitungan Beban Tansmisi pada Dinding

Pada perhitungan ini, konstruksi dinding luar gedung terdiri dari *cement plester (1,5in)* dan *common brick (4in)*. Persamaan 2.1 digunakan untuk melakukan perhitungan beban transmisi yang melalui dinding luar. Dimana CLTDc merupakan *Cooling Load Temperature Different correction* pada dinding dan nilainya ditentukan dari persamaan 2.4 Dari lampiran A diketahui bahwa dinding luar termasuk dalam grup D dimana harga koefisien perpindahan panasnya (U) adalah $0.414 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$. Dan dari lampiran ini, didapatkan harga CLTD sebagai berikut:

Tabel 4.2 Cooling Load Temperature Different ($^\circ\text{F}$) untuk dinding grup D, $^\circ\text{F}$

DIR	SOLAR TIME DINDING TIPE D											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8

SOLAR TIME DINDING TIPE D											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16
22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18
30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22
26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22
12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22
10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31
10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34
9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27

Harga LM didapatkan dari lampiran A tabel pada lampiran, yang didasarkan pada letak geografis food court adalah 07°17'34,7" LS, sehingga LM = -3 (utara) ; 4 (selatan) ; -1 (barat dan timur).

Sementara untuk nilai K ditentukan berdasarkan warna dinding, dimana untuk perhitungan kali ini dipilih dinding berwarna terang dengan nilai K = 0.65. Untuk *Outdoor Design Temperature* (To) dihitung sebagai berikut :

$$T_o = \{T_{\text{omax}} - \left(\frac{T_{\text{omax}} - T_{\text{omin}}}{2} \right)\}$$

$$T_o = \left[(95 - \frac{95 - 77}{2}) \right] ^\circ\text{F} = 86 ^\circ\text{F}$$

Dengan desain temperatur ruangan sebesar 73,4°F maka CLTDc dapat ditentukan. Sebagai contoh perhitungan CLTDc adalah dinding timur Solar Time 19 :

$$\text{CLTD}_c = \{(\text{CLTD} + \text{LM}) \times K + (78 - t_R) + (t_o - 85)\}$$

$$\text{CLTD}_c = [((31 - 1) \times 0.65) + (78 - 73,4) + (86 - 85)] ^\circ\text{F}$$

$$\text{CLTD}_c = 25,1 ^\circ\text{F}$$

Tabel 4.3 CLTDc (°F) untuk dinding grup D

DIR	CLTDc DINDING TIPE D											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	13,4	12,1	11,45	10,15	9,5	8,2	7,55	7,55	7,55	7,55	7,55	8,2
NE	14,7	13,4	12,1	10,8	10,15	8,85	8,2	8,85	10,15	12,75	14,7	16,65
E	17,3	16	14,7	13,4	12,1	10,8	10,15	10,8	12,75	16	19,25	22,5
SE	19,25	17,3	16	14,7	13,4	12,75	11,45	11,45	12,75	14,7	17,3	20,55
S	20,55	19,25	17,95	16,65	15,35	14,05	13,4	12,75	12,1	12,1	12,75	14,05
SW	24,45	22,5	20,55	18,6	16,65	15,35	14,05	12,75	12,1	11,45	11,45	11,45
W	25,1	22,5	20,55	18,6	16,65	14,7	13,4	12,1	11,45	10,8	10,8	10,8
NW	19,9	17,95	16	14,7	12,75	11,45	10,15	9,5	8,85	8,2	8,2	8,85

DIR	CLTD _c DINDING TIPE D											
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
N	8,85	10,15	11,45	12,1	13,4	14,7	15,35	16	16	16	15,35	14,05
NE	17,95	18,6	18,6	19,25	19,25	19,9	19,9	19,25	18,6	17,95	16,65	15,35
E	24,45	25,75	26,4	26,4	25,75	25,75	25,1	24,45	23,15	21,85	20,55	19,25
SE	23,15	25,1	26,4	27,05	27,05	27,05	26,4	25,75	24,45	23,15	21,85	20,55
S	16	18,6	21,2	23,8	25,75	27,05	27,05	27,05	25,75	25,1	23,8	22,5
SW	12,75	14,05	16,65	19,9	23,8	27,05	29,65	30,95	30,95	30,3	28,35	26,4
W	11,45	12,1	14,05	16,65	20,55	24,45	28,35	30,95	31,6	30,95	29,65	27,05
NW	9,5	10,15	11,45	12,75	15,35	17,95	21,2	23,8	24,45	24,45	23,15	21,2

Dari data yang telah ditabelkan diatas maka beban transmisi pada dinding luar dapat dihitung sebagai berikut :

Sebagai contoh, untuk area food court AHU 4-14 dengan orientasi dinding luarnya adalah timur dan luasan $A = 602,84 \text{ ft}^2$ pada Solar Time 19.

$$Q = U \times A \times \text{CLTD}_c$$

$$Q = 0,414 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \times 602,84 \text{ ft}^2 \times 25,1 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q = 6824,21 \text{ Btu/hr}$$

Selanjutnya mengenai perhitungan CLTD_c hingga $Q_{\text{transmisi}}$ akan ditabelkan pada Lampiran B

4.1.2 Perhitungan Beban Transmisi Kaca

Kaca luar yang digunakan pada gedung merupakan tipe *single glass*. Untuk melakukan perhitungan beban transmisi yang melalui kaca, persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.1 Dari lampiran A didapatkan harga koefisien perpindahan panas untuk *single glass* $U = 1,04 \text{ Btu/hr,ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$. Sedangkan harga CLTD_c ditentukan dengan persamaan 2.4

Dari lampiran A didapatkan harga CLTD untuk tiap jamnya yaitu :

Tabel 4.4 Cooling Load Temperature Different for Conduction Through Glass $^\circ\text{F}$

Solar Time											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	4	7	9

Solar Time											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
12	13	14	14	13	12	10	8	6	4	3	2

Dengan desain temperatur ruangan sebesar 73,4°F dan *outside temperature* 86°F maka CLTD_c dapat ditentukan.

Sebagai contoh adalah pada Solar Time 19 :

$$CLTD_C = \{CLTD + (78 - t_R) + (t_O - 85)\}$$

$$CLTD_C = [10 + (78 - 73,4) + (86 - 85)] ^\circ F$$

$$CLTD_C = 15,6 ^\circ F$$

Tabel 4.5 Cooling Load Temperature Different corrected for Conduction Through Glass °F

Solar Time											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6,6	5,6	4,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,6	7,6	9,6	12,6	14,6

Solar Time											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
17,6	18,6	19,6	19,6	18,6	17,6	15,6	13,6	11,6	9,6	8,6	7,6

Dari data yang telah ditabelkan diatas maka beban transmisi pada kaca luar dapat dihitung sebagai berikut :

Sebagai contoh, untuk area food court AHU 4-14 dengan orientasi dinding luarnya adalah timur dan luasan $A = 1177,79 \text{ ft}^2$ pada Solar Time 19.

$$Q = U \times A \times CLTD_c$$

$$Q = 1,04 \text{ Btu/hr ft}^2 ^\circ F \times 1177,79 \text{ ft}^2 \times 15,6 ^\circ F$$

$$Q = 19108,4 \text{ Btu/hr}$$

Harga beban pendinginan transmisi melalui kaca luar ditabelkan pada lampiran B

4.1.3 Perhitungan Beban Radiasi Kaca

Beban pendinginan radiasi yang melalui kaca dihitung sesuai dengan persamaan 2.5. Berdasarkan letak geografis dari

gedung ABC (7° LS) maka didapatkan harga SHGF pada bulan Oktober sebagai berikut :

Tabel 4.6 Maximum Solar Heat Gain Factors for Glass, Btu/hr-ft²

N	E	S	W	NE	SE	SW	NW
40	40	38	36	34	36	38	40

Dari lampiran A tabel 11, untuk tipe kaca *Single Glass* didapatkan harga SC = 0,64. Sedangkan harga CLF didapatkan dari lampiran A tabel 12 dan tabel 13. Harga CLF selanjutnya ditabelkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4.7 Cooling Load Factors for Glass with Interior Shading

Dir	Solar Time											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,73	0,66	0,65	0,73	0,80	0,86	0,89
NE	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,56	0,76	0,74	0,58	0,37	0,29	0,27
E	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,47	0,72	0,80	0,76	0,62	0,41	0,27
SE	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,30	0,57	0,74	0,81	0,79	0,68	0,49
S	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,09	0,16	0,23	0,38	0,58	0,75	0,83
SW	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,07	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,38
W	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17
NW	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,07	0,11	0,14	0,17	0,19	0,20	0,21

Dir	Solar Time											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0,89	0,86	0,82	0,75	0,78	0,91	0,24	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09
NE	0,26	0,24	0,22	0,20	0,16	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
E	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
SE	0,33	0,28	0,25	0,22	0,18	0,13	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04
S	0,80	0,68	0,50	0,35	0,27	0,19	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
SW	0,59	0,75	0,83	0,81	0,69	0,45	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
W	0,31	0,53	0,72	0,82	0,81	0,61	0,16	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
NW	0,22	0,30	0,52	0,73	0,82	0,69	0,16	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06

Dari data yang telah ditabelkan diatas maka beban radiasi kaca dapat dihitung sebagai berikut :

Sebagai contoh, untuk area food court AHU 4-14 dengan orientasi dinding luarnya adalah timur dan luasan $A = 1177,79 \text{ ft}^2$ pada Solar Time 19.

$$Q = 40 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \times 1177,79 \text{ ft}^2 \times 0,64 \times 0,06$$

$$Q = 1809,08 \text{ Btu/hr}$$

Harga beban pendinginan radiasi melalui kaca luar ditabelkan pada lampiran B

4.1.4 Perhitungan Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi terjadi karena adanya udara yang tidak dikondisikan masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan. Udara tersebut masuk melalui celah pintu maupun jendela. Pada Mall ini, celah jendela disekat sedemikian rupa sehingga dapat diasumsikan bahwa Berdasarkan lampiran A tabel 6, didapatkan harga infiltrasi yang melalui *sliding door (residential)* sebesar $0.5 \text{ CFM/ft}^2\text{-door area}$. Sedangkan harga *humidity ratio* (W') didapatkan dari *psychrometric chart* yang didasarkan pada temperatur dan *relative humidity* udara luar yang dikurangi 5°F ($90^\circ\text{F}/70\% \text{ RH}$) dan temperature ruangan ($73.4^\circ\text{F}/50\%$). Dari *psychrometric chart* didapatkan harga $W_o' = 150.36 \text{ grains/lb-d.a}$ dan $W_i' = 61.46 \text{ grains/lb-d.a}$.

Berdasarkan referensi dari buku *Air Conditioning Principles and Systems* oleh Edward G. Pita perbedaan temperatur udara ruangan yang tidak dikondisikan dengan temperatur udara ruangan yang dikondisikan adalah 5°F . Maka T_o yang dipakai adalah $95^\circ\text{F} - 5^\circ\text{F} = 90^\circ\text{F}$. dari temperatur tersebut maka akan diketahui *Temperature Different* (TD) nya sebesar :

$$\begin{aligned} \text{TD} &= 90^\circ\text{F} - 73.4^\circ\text{F} \\ &= 16.6^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dengan contoh perhitungan infiltrasi melalui salah satu pintu Lobi Utara yang termasuk kedalam pintu *slidding glass*

doors (residential) dengan nilai infiltrasinya sebesar 0.5 CFM/ft^2 door area yang didapatkan dari lampiran A tabel 6 dengan luasan pintu A = $376,8 \text{ ft}^2$.

$$\begin{aligned}\text{Total infiltrasi} &= 0.5 \text{ CFM/ft}^2 \times 376,8 \text{ ft}^2 \\ &= 188,4 \text{ CFM}\end{aligned}$$

Untuk beban panas sensibel :

$$Q_s = 1.1 \times 188,4 \text{ CFM} \times 16.6^{\circ}\text{F}$$

$$Q_s = 3440,1 \text{ Btu/hr}$$

Untuk beban panas laten :

$$Q_L = 0.68 \times 188,4 \text{ CFM} \times (150.36 - 61.46) \text{ grains/lb-d.a.}$$

$$Q_L = 11389 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga beban infiltrasi totalnya adalah :

$$Q_{\text{inf}} = Q_s + Q_L$$

$$Q_{\text{inf}} = 3440,1 \text{ Btu/hr} + 11389 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_{\text{inf}} = 14829,3 \text{ Btu/hr}$$

4.1.5 Perhitungan Beban Penerangan

Beban penerangan akan muncul karena adanya heat gain yang dikeluarkan oleh lampu yang menyala. Besarnya heat gain yang dihasilkan oleh lampu dapat dihitung dengan persamaan 2.9. Dalam persamaan tersebut, W adalah daya yang dibutuhkan oleh lampu. Sedangkan BF adalah *Ballast Factor* yang menyatakan besarnya *heat losses* pada trafo lampu *fluorescent*. Untuk lampu *fluorescent*, nilai BF adalah 1,25. Dan *Cooling Load Factor* (CLF), bernilai 1. Dan berikut ini merupakan rincian perhitungan beban pendinginan pada lampu di Area Food Court

Tabel 4.8 Perhitungan beban penerangan

No	Tenant	Jenis Lampu	Lampu Saat ini					Fu	Fs	CLF	Q	Q Total per AHU
			Daya (Watt)	Flux (Lumens)	Jumlah Lampu	Daya Total (Watt)	Lumens Total (Watt)					
AHU 4-14	HUNGRY	Downlight PLC 2 x 14 Watt	28	1520	12	336	18240	1	1,2	1	21888	172296
	JEFF	Downlights Halogen	10	700	5	50	3500	1	1,2	1	4200	
	GEKKO	Philp TL T5	28	2700	12	336	32400	1	1,2	1	38880	
		Downlight PLC 1 x 18 Watt	18	1040	26	468	27040	1	1,2	1	32448	
	XO XIJIK	Downlights PLC 2 x 18 Watt	36	2080	30	1080	62400	1	1,2	1	74880	

4.1.6 Perhitungan Beban Penghuni

Beban penghuni adalah beban pendinginan yang diakibatkan oleh adanya heat gain yang dikeluarkan oleh tubuh manusia. Besarnya heat gain yang dihasilkan oleh tubuh manusia dapat dihitung dengan persamaan 2.10 dan 2.11. Dari persamaan tersebut, q_s dan q_L adalah heat gain yang dihasilkan oleh setiap manusia. Dari lampiran A tabel aktiifitas *Seated, eating, at Restaurant*, $q_s = 255$ Btu/hr dan $q_L = 325$ Btu/hr. Sedangkan harga CLF bernilai 1. Sebagai contoh adalah perhitungan beban pendinginan pada Area Food Court AHU 4-14 dimana didalamnya terdapat data maksimum pengunjung perjamnya adalah 371 orang. Untuk beban panas sensibel.

$$Q_s = 255 \text{ Btu/hr} \times 26 \text{ orang} \times 1$$

$$Q_s = 6630 \text{ Btu/hr}$$

Untuk beban panas laten.

$$Q_L = 325 \text{ Btu/hr} \times 26 \text{ orang} \times 1$$

$$Q_L = 8450 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga beban penghuni totalnya adalah :

$$Q_{occ} = Q_s + Q_L$$

$$Q_{occ} = 6630 \text{ Btu/hr} + 8450 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_{occ} = 15080 \text{ Btu/hr}$$

Selanjutnya, harga beban pendinginan akibat penghuni selanjutnya ditabelkan seperti pada Lampiran B

4.1.7 Perhitungan Beban Peralatan Listrik

Semua peralatan listrik yang digunakan dalam area food court dan menunjang segala aktivitasnya menghasilkan panas yang perlu diperhitungkan. Besarnya panas (*heat gain*) yang dihasilkan peralatan tergantung dari daya yang dibutuhkan dan penggunaannya. Besarnya *heat gain* setiap peralatan listrik ditabelkan pada lampiran tabel.

Sebagai contoh adalah *heat gain* yang dihasilkan oleh peralatan yang ada pada stan Gekko pada area AHU 4-14 Pada stan tersebut terdapat peralatan sebagai berikut :

Tabel 4.9 Perhitungan beban peralatan listrik

GEKKO					
No	Nama Peralatan	Jumlah	Heat Gain Per Peralatan	HGtot Per Peralatan	HGtot Gekko
1	Kompor Gas	1	1048,1664	1048,1664	10156,13312
2	Coffe Machine	1	1230	1230	
3	Blender	2	256,48	512,96	
4	Chiller	2	169,2352	338,4704	
5	Oven	1	1364,8	1364,8	
6	Water Boiler	1	163,776	163,776	
7	Microwave	2	1435,7696	2871,5392	
8	Mixer	1	15,83168	15,83168	
9	Chiller Kecil	2	376,6848	753,3696	
10	Magiccom	1	491,328	491,328	
11	Fryer	1	191,072	191,072	
12	Show Case	1	349,3888	349,3888	
13	Komputer	2	289,3376	578,6752	
14	Printer	1	159,40864	159,40864	
15	TV	2	27,296	54,592	
16	Sound	1	32,7552	32,7552	

Selanjutnya perhitungan beban peralatan akan dilampirkan pada lampiran B

4.1.8 Perhitungan Beban Pendinginan pada Saluran Udara (Ducting)

Pada saat saluran udara melintasi ruangan yang tidak dikondisikan maka akan terjadi perpindahan panas karena adanya perbedaan temperatur udara didalam ducting dengan udara lingkungan. Besarnya perpindahan panas yang terjadi dapat dihitung dengan rumusan berikut

$$Q = U \times A \times TD$$

dimana:

U = Overall heat transfer coefficient, Btu/hr.ft²

A = Luas permukaan ducting, ft²

TD = Perbedaan temperature udara didalam saluran dan udara luar, °F

Berdasarkan standar untuk konstruksi *ducting* secara umum didapatkan harga U berkisar antara 0.22 – 0.25 Btu/hr.ft². Sedangkan harga TD didapatkan dari perbedaan temperatur antara (To-5) dengan temperatur didalam ruangan yang direncanakan. Sehingga diperoleh $TD = 16,6$ °F.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan beban kalor pada *supply air duct* AHU 4-14, dengan dimensi:

- Penampang ($p \times l$) : 1,35 m x 0,5 m
- Panjang saluran : 4,586 m
- Luas Selimut (A) : $16,9 \text{ m}^2 = 55,6 \text{ ft}^2$

Dari luasan selimut tersebut maka dapat dihitung nilai *duct heat gain*:

$$Q = 0.25 \text{ Btu/hr ft}^2 \times 55,6 \text{ ft}^2 \times 16,6^\circ\text{F}$$

$$Q = 230,74 \text{ Btu/hr}$$

Selanjutnya, beban kalor *sensible* dari *ducting* akan dipisah menjadi dua, yaitu pada *duct supply air* yang akan masuk pada perhitungan RSHG, dan *duct return air* yang akan masuk pada perhitungan beban koil pendingin.

Selengkapnya, perhitungan mengenai beban kalor pada *ducting* akan dilampirkan pada Lampiran B

4.1.9 Beban Pendinginan pada Fan

Sebagian energi yang dihasilkan oleh *fan* akan menjadi panas, sehingga akan mempengaruhi temperatur udara. Besarnya energi panas yang dihasilkan oleh *fan* berkisar antara 2.5% hingga 10% dari RSHG. Dalam perhitungan ini digunakan harga sebesar 5% untuk mengakomodasi tingkat keekonomisan. Perhitungan beban kalor sensibel pada *fan* juga ditentukan oleh penempatan *fan* itu sendiri. Untuk *fan* yang ditempatkan sebelum koil pendingin maka perhitungannya masuk pada perhitungan beban koil pendingin. Sedangkan untuk *fan* yang diletakkan setelah koil pendingin maka perhitungannya akan masuk pada perhitungan RSHG. Pada perhitungan kali ini *fan* dianggap berada setelah koil pendingin sehingga akan masuk pada perhitungan RSHG.

4.1.10 Beban Pendinginan Total Ruangan

Beban pendinginan total ruangan (*Room Total Heat Gain* = *RTHG*) adalah penjumlahan beban kalor sensibel ruangan

(RSHG) dan beban kalor laten ruangan (RLHG). Disamping itu juga terdapat penambahan beban kalor sensibel yang dihasilkan oleh *fan* dan *supply duct*.

Total beban kalor sensibel ruangan (RSHG) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{RSHG} = Q_{\text{transmisi}} + Q_{\text{radiasi}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{penerangan}} + Q_{\text{penghuni}} + Q_{\text{peralatan}} + Q_{\text{duct}}$$

Sedangkan untuk total beban kalor laten ruangan (RLHG) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{RLHG} = Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{penghuni}}$$

Hasil perhitungan *Room Sensible Heat Gain* , *Room Latent Heat Gain* dan *Room Total Heat Gain* secara lengkap ditabelkan seperti pada lampiran B

4.1.11 Beban Pendinginan Total Udara Luar

Seperti halnya beban pendinginan total ruangan, beban pendinginan total udara luar (*Outside Air Total Heat = OATH*) didapatkan dari penjumlahan beban kalor sensibel udara luar (OASH) dan beban kalor laten udara luar (OALH). Beban kalor udara luar ini beserta beban kalor pada *duct return air* merupakan beban kalor yang akan menjadi beban koil pendinginan. Total beban kalor sensibel udara luar (OASH) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{OASH} = Q_{\text{ventilasi}} + Q_{\text{duct}}$$

Sedangkan untuk total beban kalor laten udara luar (OALH) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{OALH} = Q_{\text{ventilasi}}$$

Hasil perhitungan *Outside Air Sensible Heat (OASH)*, *Outside A Latent Heat (OALH)* dan *Outside Air Total Heat (OATH)* lengkap ditabelkan seperti pada Lampiran B

4.1.12 Beban Pendinginan Total

Beban pendinginan total (*Grand Total Heat = GTH*) adalah beban pendinginan yang harus ditanggung oleh system pengkondisian udara. Beban pendinginan ini meliputi beban kalor

ruangan, beban kalor udara luar (ventilasi), beban kalor pada ducting dan beban kalor pada *fan*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung GTH adalah sebagai berikut :

$$GTH = [RSHG + OASH] + [RLHG + OALH] + Q_{fan}$$

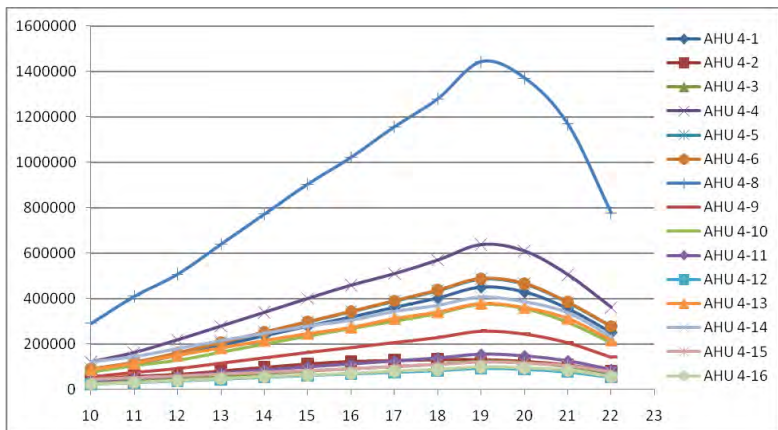
Hasil perhitungan *Grand Total Heat* (GTH) untuk setiap AHU dan untuk seluruh area *food court* secara lengkap ditabelkan seperti pada lampiran B

4.1.13 Pertimbangan Faktor Keamanan dalam Perhitungan

Faktor keamanan ini perlu ditambahkan pada beban ruangan mengingat berbagai kemungkinan dalam penelitian menghitung beban pendinginan. Faktor keamanan ini berkisar 0% sampai dengan 10% dari RSHG.

4.1.14 Design Hour

Design hour adalah waktu dimana beban pendinginan berada pada kondisi puncak (*peak load*). Desain AHU akan disesuaikan dengan kondisi *peak load* untuk setiap AHU. Berdasarkan *peak load* setiap AHU didapatkan beban pendinginan maksimumnya seperti pada tabel berikut:



Gambar 4.1 Grafik Beban Pendinginan

Tabel 4.10 Distribusi beban puncak setiap AHU dalam Area Food Court

AHU	Q (Btu/hr)	Q (kW)
AHU 4-1	449406,14	131,68
AHU 4-2	131971,38	38,67
AHU 4-3	123438,27	36,17
AHU 4-4	637467,53	186,78
AHU 4-5	486916,09	142,67
AHU 4-6	487584,18	142,86
AHU 4-8	1442292,88	422,59
AHU 4-9	256824,44	75,25
AHU 4-10	372615,76	109,18
AHU 4-11	154659,23	45,32
AHU 4-12	93713,47	27,46
AHU 4-13	378518,80	110,91
AHU 4-14	406063,42	118,98
AHU 4-15	121624,87	35,64
AHU 4-16	97829,43	28,66

4.1.15 Perhitungan RSHF

RSHF adalah perbandingan beban kalor sensibel ruangan terhadap beban kalor total dari ruangan pada saat *peak time*. Persamaan 2.26 digunakan untuk menghitung perbandingan tersebut. Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan RSHF untuk Area *Food Court* sebesar :

$$RSHF = \frac{293178,57 \text{ Btu/hr}}{402592,008 \text{ Btu/hr}} = 0.72$$

4.1.16 Perhitungan Beban Koil Pendingin

Beban koil pendingin direpresentasikan oleh garis yang menghubungkan antara titik MA (*mixing air*) dengan titik SA (*supply air*). Persamaan 2.27 untuk menghitung gradien garisnya adalah :

$$GSHF = \frac{1267,6 \text{ Btu/hr}}{1267,6 + 0 \text{ Btu/hr}} = 1$$

Tabel 4.11 Grand Sensible Heat Factor (GSHF)

AHU	OASH	OATH	GSHF
AHU 4-1	3155,83	3155,83	1
AHU 4-2	2646,89	2646,89	1
AHU 4-3	3583,4	3583,4	1
AHU 4-4	856,7	856,7	1
AHU 4-5	2922,6	2922,6	1
AHU 4-6	3501,8	3501,8	1
AHU 4-8	5348,5	5348,5	1
AHU 4-9	2887,5	2887,5	1
AHU 4-10	888,88	888,88	1
AHU 4-11	3332,03	3332,03	1
AHU 4-12	1243,8	1243,8	1
AHU 4-13	1300,9	1300,9	1
AHU 4-14	1267,06	1267,06	1
AHU 4-15	2320,6	2320,6	1
AHU 4-16	1354,7	1354,7	1

4.1.17 Perhitungan Kapasitas Udara *Supply* (CFM) Area Food Court

Dari data tabel 3.1 diperoleh kapasitas udara *supply* total pada AHU 4-14 adalah :

$$CFM_s = 16000 \text{ cfm}$$

Udara *supply* yang terjadi pada seluruh ruangan berdasarkan data yang diperoleh adalah sebesar 16800 cfm sehingga dapat menghitung temperatur *supply*nya sebagai berikut:

$$CFM \text{ supply} = \frac{RSHG}{1.1 \times (T_r - T_s)}$$

$$16000 \text{ cfm} = \frac{293178,57 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \right)}{1.1 (73.4 - T_s)}$$

$$T_s = 73.4 - \frac{293178,57 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \right)}{1.1 \times 16000 \text{ cfm}}$$

$$= 56,9 \text{ } ^\circ\text{F} = 13,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari pengeplotan data pada *psychometric chart* antara RSHF = 0.68 dan $T_s = 13,8^\circ\text{C}$ seperti pada gambar 4.2 akan didapatkan harga $W_s = 0.078 \text{ kg/kg d.a}$ dan banyaknya udara luar yang masuk ke dalam gedung Mall (CFM_{OA}).

$$\text{CFM outside} = \frac{1267,06 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \right)}{1.1 \times (95 - 73.4)}$$

$$= 53,32 \text{ cfm}$$

$$\begin{aligned} \text{CFM}_{\text{return}} &= \text{CFM}_s - \text{CFM}_{\text{OA}} \\ &= 16000 \text{ cfm} - 53,32 \text{ cfm} \\ &= 15946,6 \text{ cfm} \end{aligned}$$

Pada perancangan ini perbandingan antara udara luar dengan udara *return* adalah 0.01 : 0.99 Sehingga dari perbandingan ini dapat dicari temperatur dari *mixture air* (udara campuran).

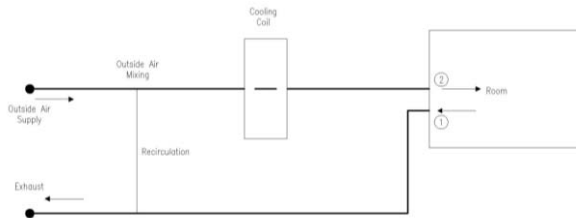
$$\begin{aligned} W_m &= 0.99 \times W_R + 0.01 \times W_{\text{OA}} \\ &= 0.99 \times 0,009 \text{ kg/kg d.a} + 0.01 \times 0,078 \text{ kg/kg d.a} \\ &= 0.0096 \text{ kg/kg d.a} \end{aligned}$$

Dari pengeplotan data pada *psychometric chart* sepanjang garis OA-R dan $W_m = 0.0096 \text{ kg/kg d.a}$ seperti pada gambar 4.2 akan didapatkan :

$$T_m = 23,8 \text{ } ^\circ\text{C} = 75 \text{ } ^\circ\text{F}$$

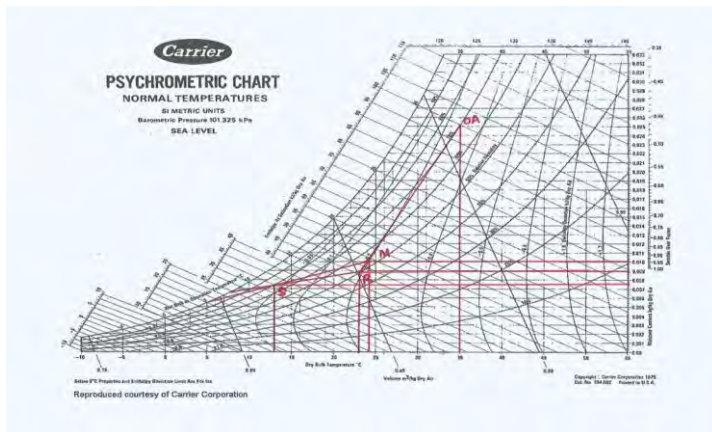
4.1.18 Aplikasi Psychrometric

Dari RSHF dan GSHF maka akan didapatkan model sistem dan model proses pengkondisian udara pada Mall ini sebagai berikut :



Gambar 4.2 Model sistem pengkondisian udara

Dan berikut merupakan pengeplotan GSHF dan RSHF dalam bagan psikrometrik:



Gambar 4.3 Aplikasi *psycrometric chart*

Dari aplikasi *psychrometric* tersebut didapatkan nilai $T_{ra} = 75\text{ }^{\circ}\text{F}$ dan $T_{sa} = 56,9\text{ }^{\circ}\text{F}$

4.1.19 Perhitungan Debit Udara Area Food Court

Dari perhitungan beban kalor ruangan selanjutnya akan dilakukan perhitungan debit udara (\dot{V}) pada Area Food Court. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Debit Udara} = \frac{RSHG}{1.1(T_r - T_s)}$$

Dimana :

CFM = Debit aliran udara, ft³/min
 RSHG = Room Sensible Heat Gain, Btu/hr
 T_{RA} - T_{SA} = Perbedaan temperatur *return air* dan *supply air*, °F

Dari *psychometric chart* didapatkan harga T_{SA} = 56,9 °F dan T_{RA} = 75 °F. Sehingga debit aliran udara akan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Debit Udara} &= \frac{293178,57 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{hr}}\right)}{1.1 (75 - 56,9)^{\circ}\text{F}} \\ &= 14725,19 \text{ ft}^3/\text{min}. \\ &= 6,94 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Tabel 4.12 Debit Udara tiap AHU

AHU	RSHG	Tr	Ts	Debit Udara (ft ³ /min)	Debit Udara (m ³ /s)
AHU 4-1	374195,2095	75	56,9	18794,33498	8,86993847
AHU 4-2	102193,1505	75	56,9	5132,754922	2,4223906
AHU 4-3	94435,782	75	56,9	4743,133199	2,23850962
AHU 4-4	535735,1055	75	56,9	26907,84056	12,6990867
AHU 4-5	415120,1638	75	56,9	20849,83243	9,84002525
AHU 4-6	415727,5153	75	56,9	20880,33728	9,85442193
AHU 4-8	1109119,515	75	56,9	55706,6557	26,2906141
AHU 4-9	203670,936	75	56,9	10229,57991	4,82782415
AHU 4-10	305360,769	75	56,9	15337,0552	7,23828409
AHU 4-11	119568,4665	75	56,9	6005,44784	2,83425579
AHU 4-12	69038,235	75	56,9	3467,51557	1,63648513
AHU 4-13	290902,168	75	56,9	14610,85726	6,89555682
AHU 4-14	293178,5745	75	56,9	14725,19209	6,94951686
AHU 4-15	76481,412	75	56,9	3841,356705	1,8129185
AHU 4-16	66280,011	75	56,9	3328,980964	1,57110408

4.1.20 Perhitungan Laju Alir Massa dan Debit Air Area

Food Court

Hasil perhitungan *Grand Total Heat* (GTH) merupakan representasi dari besarnya beban pendinginan yang berada pada area *Food Court*. Dengan menganggap bahwa GTH sama dengan kalor yang diserap oleh air pendingin (*chilled water*) maka akan diketahui besarnya laju alir massa (*mass flow rate*) yang menuju area *Food Court*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju alir massa tersebut adalah :

$$GTH = Q_{water} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{GTH}{C_p \Delta T}$$

dengan :

\dot{m} = laju alir massa air, kg/s

C_p = *Specific heat air*, KJ/kg K

ΔT = perbedaan temperatur air yang melalui area *food court*, K

Berdasarkan buku Frank P. Incropera, *Fundamental of Heat and Mass Transfer 4th edition*, harga C_p didapatkan sebesar 4.19 KJ/kg K. Dan dari AHU Schedule yang didapat, diketahui besar $\Delta T = 10$ K, sehingga perhitungan nilai \dot{m} adalah sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{406063,42 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ kW}}{3410 \text{ Btu/hr}}}{4.19 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}} \times 10 \text{ K}}$$

$$\dot{m} = 2,83 \text{ kg/s}$$

Dan setelah nilai laju alir massa air diketahui, maka kita dapat memperoleh nilai debit air dengan persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{water}}{\rho_{water}}$$

$$\dot{V} = \frac{2,83 \text{ kg/s}}{999 \text{ kg/m}^3} = 0.0028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 170,54 \text{ l/min}$$

Tabel 4.13 Debit Air setiap AHU

AHU	GTH (Btu/hr)	GTH (kW)	Cp (kJ/kg)	ΔT (°C)	ṁ (kg/s)	ρ (kg/m³)	V (m³/s)	V (Lt/min)
AHU 4-1	449406,14	131,68	4,19	10	3,142625	999	0,003146	188,7463
AHU 4-2	131971,38	38,67	4,19	10	0,922855	999	0,000924	55,42671
AHU 4-3	123438,27	36,17	4,19	10	0,863184	999	0,000864	51,84289
AHU 4-4	637467,53	186,78	4,19	10	4,457708	999	0,004462	267,7302
AHU 4-5	486916,09	142,67	4,19	10	3,404926	999	0,003408	204,5001
AHU 4-6	487584,18	142,86	4,19	10	3,409598	999	0,003413	204,7807
AHU 4-8	1442292,88	422,59	4,19	10	10,08572	999	0,010096	605,7492
AHU 4-9	256824,44	75,25	4,19	10	1,795932	999	0,001798	107,8638
AHU 4-10	372615,76	109,18	4,19	10	2,605642	999	0,002608	156,495
AHU 4-11	154659,23	45,32	4,19	10	1,081507	999	0,001083	64,95539
AHU 4-12	93713,47	27,46	4,19	10	0,655323	999	0,000656	39,35876
AHU 4-13	378518,80	110,91	4,19	10	2,646921	999	0,00265	158,9743
AHU 4-14	406063,42	118,98	4,19	10	2,839537	999	0,002842	170,5427
AHU 4-15	121624,87	35,64	4,19	10	0,850503	999	0,000851	51,08128
AHU 4-16	97829,43	28,66	4,19	10	0,684106	999	0,000685	41,08742

4.2 Perhitungan Ulang Air Handling Unit

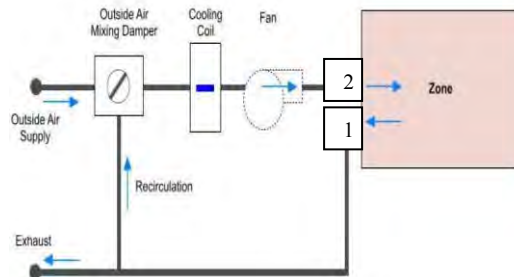
Perhitungan ulang pada *Air Handling Unit* dilakukan dengan dasar pertimbangan *Cooling Load*, kebutuhan udara suplai dan *fan static pressure*. Dari perhitungan diatas sudah diketahui kebutuhan udara dan beban pendinginan, sehingga harus dihitung kebutuhan *fan static pressure*.

Secara garis besar, perhitungan *fan static pressure* sama dengan perhitungan head pada pompa. Berdasarkan model system seperti gambar 4.3 ini dan *control volume*-nya mengikuti ducting dari titik 1 menuju titik 2, maka persamaannya akan menjadi :

$$\frac{P_1}{\rho_{1g}} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + Z_1 + H_f = \frac{P_2}{\rho_{2g}} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + Z_2 + h_{LT}$$

$$H_f = h_{LT}$$

Karena pada titik 1 dan titik 2 berada pada satu ruangan, maka tekanan (P1 dan P2), kecepatan udara dan elevasi pada titik 1 dan titik 2 adalah sama, sehingga besarnya *static pressure fan* hanya ditentukan oleh headloss atau *drop* disepanjang saluran udara.



Gambar 4.4 Model sistem perhitungan *pressure drop*

Perhitungan *pressure drop* pada *ducting* ini didasarkan pada kesamaan *pressure drop* pada setiap percabangan (*friction method*). Dengan dasar tersebut, maka *pressure drop* hanya dihitung pada saluran terpanjang sedangkan untuk percabangan akan mengikuti besarnya *pressure drop* pada saluran terpanjang tersebut. Hal terpenting yang harus diketahui menghitung besarnya *pressure drop* pada *ducting* adalah distribusi udara di setiap ruangan sehingga nantinya akan bisa diketahui kecepatan udara yang melalui *ducting*.

Distribusi udara pada setiap ruangan ditentukan berdasarkan besarnya beban pendinginan yang harus ditangani oleh AHU. Sebagai contoh untuk AHU 4-14 dimana jumlah kapasitas udara yang diperlukan adalah 15318,06 ft³/min setara dengan 7,2 m³/s. Jumlah udara sebanyak itu akan didistribusikan ke 3 ruangan lantai 3. Sehingga dapat dilakukan pendistribusian sebagai berikut :

Tabel 4.14 Distribusi beban pendinginan dan udara pada AHU 4-14

No.	Retail	Transmisi Dinding (Btu /hr)	Transmisi Kaca (Btu /hr)	Radiasi Kaca (Btu /hr)	Infiltrasi (Btu /hr)	Lighting (Btu /hr)	Penghuni (Btu /hr)	Equipment (Btu /hr)	Sub Total (Btu /hr)	%Load	Vtot (m ³ /s)	Vruang (m ³ /s)
1	HUNGRY JEFF	6824,2	0,0	0,0	0,0	26088,0	10965,0	5790,7	49667,9	0,2	5,2	0,9
2	GEKKO	0,0	19108,5	1809,1	14829,3	71328,0	6630,0	10156,1	123861,0	0,4	5,2	2,2
4	X.O XUKI	0,0	0,0	0,0	0,0	74880,0	30600,0	10330,9	115810,9	0,4	5,2	2,1
								Total	289339,7	1,0	5,2	5,2

4.2.1 Perhitungan Kecepatan Aliran Udara (\bar{V}_{udara})

Langkah-langkah dalam menghitung kecepatan aliran adalah sebagai berikut:

- Menentukan luas penampang ducting
- Menentukan kapasitas udara melalui ducting

Setelah kedua parameter diatas diketahui maka kecepatan udara yang melintasi *ducting* dapat dihitung. Misalnya untuk menghitung kecepatan udara pada *supply duct* yang menghubungkan antara AHU 4-14 dengan Area *Food Court* yang didapat adalah sebagai berikut :

a) Kapasitas udara adalah 6,86 m³/s.

b) Luas penampang *ducting* A = 1,35 m x 0.5 m = 0,675 m²

Sehingga didapatkan kecepatan udara didalam saluran sebesar:

$$\bar{V} = \frac{6,94 \text{ m}^3/\text{s}}{0,675 \text{ m}^2} = 10,2 \text{ m/s}$$

4.2.2 Perhitungan Reynolds Number (Re)

Setelah melakukan perhitungan kecepatan rata udara didalam *ducting*, langkah berikutnya adalah menghitung bilangan Reynolds (Reynolds Number). Hal ini dilakukan untuk menentukan persamaan yang akan digunakan untuk menghitung *pressure drop*. Sebagai contoh untuk menghitung bilangan Reynolds pada saluran udara dari AHU 4-14 menuju *First Floor*. Dari tabel *properties of air* viskositas kinematik udara pada temperatur 70°F adalah $1.98 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, kecepatan rata – rata udara $\bar{V} = 10,2 \text{ m/s}$, dan diameter ekivalen dihitung berdasarkan persamaan 2.36 sebagai berikut :

$$D_{eq} = \frac{4(1,35 \times 0.5) \text{ m}^2}{2(1,35 + 0.5) \text{ m}} = 0.73 \text{ m}$$

Sehingga nilai bilangan Reynolds dapat dihitung sebagai berikut:

$$Re = \frac{10,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.72 \text{ m}}{1,98 \times \frac{10^{-5} \text{ m}^2}{\text{s}}} = 3,76 \times 10^5$$

4.3 Perhitungan *Pressure Drop* (ΔP)

Dalam hal ini, *pressure drop* pada saluran udara disebabkan oleh gesekan fluida pada saluran lurus, pengecilan penampang, belokan (*elbow*) dan aksesoris (*fitting*) pada saluran distribusi udara.

4.3.1 Perhitungan *Pressure Drop* (ΔP) Saluran Lurus

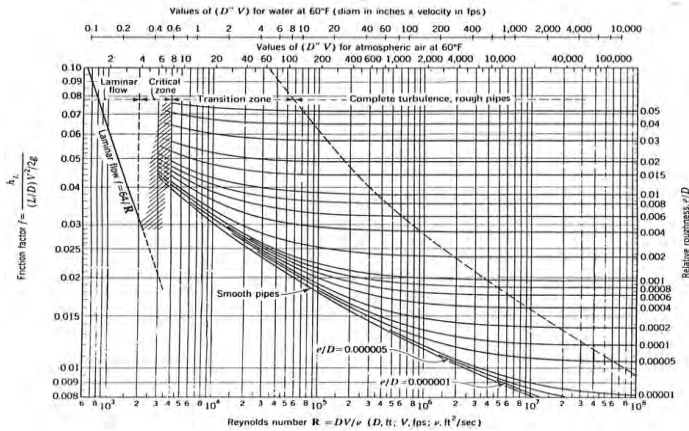
Persamaan yang digunakan sama seperti pada perhitungan headloss mayor pada instalasi pipa. Seperti halnya *headloss* mayor, faktor gesekan (*friction factor*) dalam perhitungan ini juga didapatkan dari *Moody Diagram* dengan variabel penentu adalah bilangan Reynolds dan kekasaran relatif (*relative roughness*). Sebagai contoh perhitungan p pada *ducting* dari AHU 4-14 menuju area *food court*. Dengan $Re = 3,76 \times 10^5$, relatif untuk *galvanized steel sheet* $\varepsilon = 0.000155$ m, $Deq = 0.73$ m, $\varepsilon/D = 0.00021$ maka akan didapatkan *friction factor*, f . Setelah didapatkan harga f , langkah berikutnya adalah menghitung *pressure drop* (ΔP) dengan panjang *ducting* $L = 4,5$ m, kecepatan rata-rata udara $\bar{V} = 10,2$ m/s, dan *air density* (ρ) = 1.1842 kg/m³, $f = 0.0159$ sebagai berikut :

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D_{eq}} \times \frac{V^2}{2} \times \rho$$

$$\Delta P = 0.0159 \times \frac{4,5 \text{ m}}{0.73 \text{ m}} \times \frac{10,2^2}{2} \times 1.1842 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = 6,2 \text{ N/m}^2 = 0.000062 \text{ bar}$$

Untuk perhitungan *pressure drop* saluran lurus setiap AHU ditabelkan pada Lampiran B



Gambar 4.5 Moody Diagram

4.3.2 Perhitungan Pressure Drop (ΔP) Reduction Area

Penurunan tekanan ini disebabkan oleh adanya pengecilan penampang pada saluran udara. Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung besarnya penurunan tekanan pada Reduction Area:

$$\Delta P = \rho \frac{V_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

Sebagai contoh untuk menghitung *pressure drop reduction area* pada AHU 4-14 dari ukuran penampang 1.35 m x 0.5 m menjadi 1.05 m x 0.45, data yang diketahui adalah sebagai berikut:

- Luas Penampang 1 (A_1) = 0.67 m²
- Luas Penampang 2 (A_2) = 0.45 m²
- Kecepatan Rata- Rata Udara (\bar{V}) = 12 m/s
- Massa Jenis Udara (ρ) = 1.1842 kg/m³

Sehingga,

$$\Delta P = 1.1842 \text{ kg/m}^3 \times \frac{12^2}{2} \times \left[\left(\frac{0.67}{0.45} \right)^2 - 1 \right]$$

$$\Delta P = 89,12 \text{ N/m}^2 = 0.00089 \text{ bar}$$

Perhitungan *pressure drop reduction area* selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran B

4.3.3 Perhitungan Pressure Drop (ΔP) Duct Fitting Elbow 90°

Duct fitting merupakan aksesori tambahan yang digunakan dalam instalasi saluran distribusi udara. Perhitungan *pressure drop* menggunakan rumusan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sebagai contoh adalah perhitungan *pressure drop* pada Elbow 90°, untuk saluran udara dari AHU 4-14 menuju *Food Court*. Dengan data sebagai berikut:

- Panjang penampang (H) = 1.3 m
- Lebar penampang (W) = 0.5 m
- Radius Kelengkungan (R) = 1.3 m
- Kecepatan udara (\bar{V}) = 10,6 m/s
- Massa jenis udara (ρ) = 1.1842 kg/m³

Dari data tersebut selanjutnya akan dihitung H/W = 2,6 dan R/W = 2,6 dan dari lampiran tabel akan didapatkan koefisien gesek (C) = 0.01. Setelah diketahui harga C, maka ΔP elbow 90° dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta P = C \times \frac{\bar{V}^2}{2} \times \rho$$

$$\Delta P = 0.01 \times \frac{10,6^2}{2} \text{ m}^2/\text{s}^2 \times 1.1842 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,66 \text{ N/m}^2 = 6,67 \times 10^{-6} \text{ bar}$$

Perhitungan *pressure drop* pada elbow 90° selanjutnya ditabelkan pada Lampiran B

4.3.4 Pressure Drop (ΔP) Total Ducting

Setelah dilakukan perhitungan *pressure drop* untuk saluran lurus dan duct fitting, maka langkah berikutnya adalah menjumlahkan keseluruhan penurunan tekanan yang harus ditangani oleh setiap fan pada AHU. Dari perhitungan,

didapatkan jumlah pressure drop setiap AHU adalah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Pressure drop (ΔP) setiap AHU berdasarkan kebutuhan performa AHU

AHU	Pressure Drop (Bar)	Air Flow (m ³ /s)	Cooling Load (Kw)
AHU 4-1	1,0092	8,87	131,68
AHU 4-2	0,0129	2,42	38,67
AHU 4-3	0,0148	2,24	36,17
AHU 4-4	0,0382	12,70	186,78
AHU 4-5	3,1589	9,84	142,67
AHU 4-6	2,1029	9,85	142,86
AHU 4-8	18,6595	26,29	422,59
AHU 4-9	0,0482	4,83	75,25
AHU 4-10	0,0122	7,24	109,18
AHU 4-11	0,0783	2,83	45,32
AHU 4-12	0,0017	1,64	27,46
AHU 4-13	0,1116	6,90	110,91
AHU 4-14	0,0360	6,95	118,98
AHU 4-15	0,0084	1,81	35,64
AHU 4-16	0,0001	1,57	28,66

4.4 Analisa Perhitungan

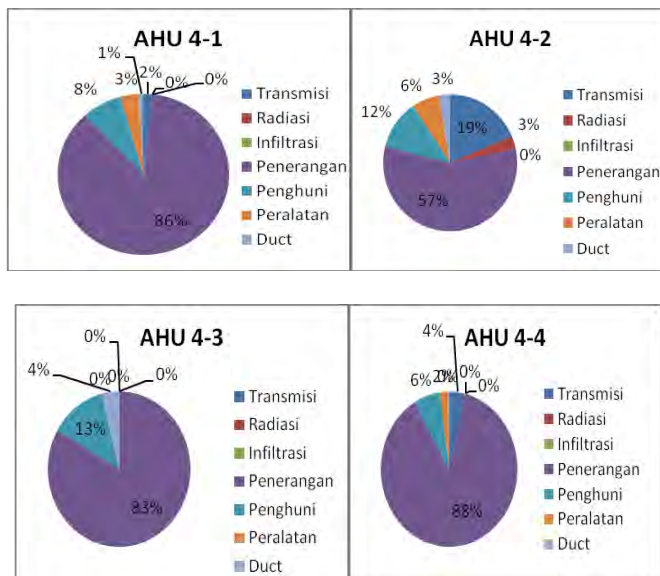
Setelah dilaksanakannya perhitungan. Ada beberapa hal yang yang dapat kita amati:

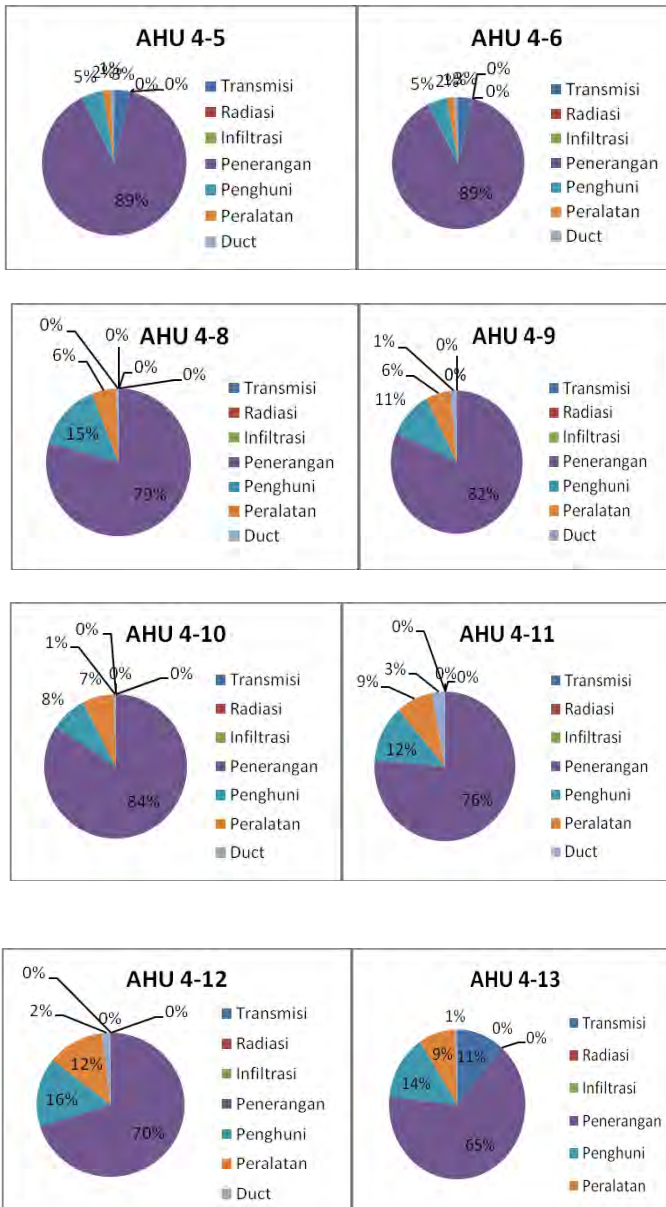
4.4.1 Distribusi setiap beban pendinginan pada area *Food Court*

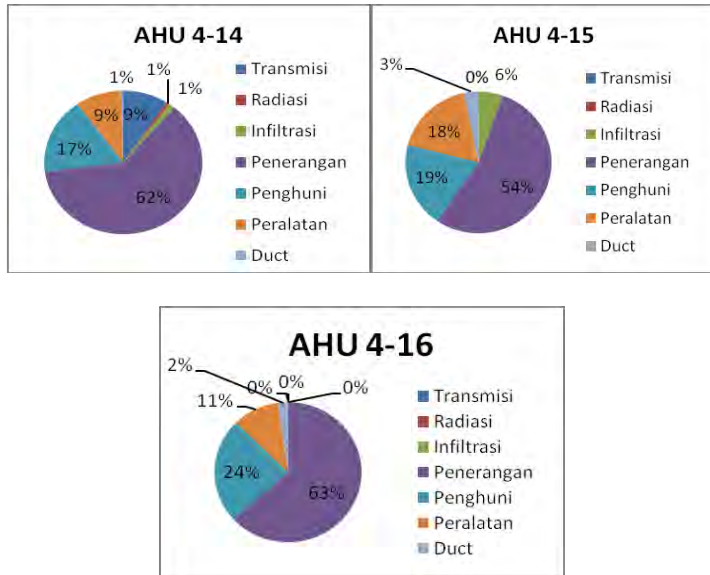
Secara umum, tanpa membedakan apakah sumber panas ini berasal dari luar ataupun dari dalam, berikut ini merupakan persentase besar panas yang diberikan masing-masing elemen:

Tabel 4.16 Distribusi beban pendinginan pada *food court*

Beban	AHU 4-1 (Btu/hr)	AHU 4-2 (Btu/hr)	AHU 4-3 (Btu/hr)	AHU 4-4 (Btu/hr)	AHU 4-5 (Btu/hr)	AHU 4-6 (Btu/hr)	AHU 4-8 (Btu/hr)	AHU 4-9 (Btu/hr)	
Transmisi	5904,5	18173,9	-	20055,4	14150,9	14150,9	-	-	
Radiasi	-	2969,1	-	-	-	-	-	-	
Infiltrasi	-	-	-	-	-	-	-	-	
Penerangan	308004,0	55608,0	74880,0	447120,0	351840,0	351840,0	836616,0	158220,0	
Penghuni	27120,0	11475,0	11475,0	31875,0	19125,0	19125,0	156060,0	20910,0	
Peralatan	12192,1	6453,9	-	10316,7	7314,0	7314,0	58279,8	11954,8	
Duct	3155,8	2646,9	3583,8	856,8	2922,7	3501,1	5348,5	2887,5	
Total	356376,4	97326,8	89938,8	510223,9	395352,5	395931,0	1056304,3	193972,3	
Beban	AHU 4-10 (Btu/hr)	AHU 4-11 (Btu/hr)	AHU 4-12 (Btu/hr)	AHU 4-13 (Btu/hr)	AHU 4-14 (Btu/hr)	AHU 4-15 (Btu/hr)	AHU 4-16 (Btu/hr)	Total	%Beban
Transmisi	-	-	-	31615,3	25932,7	-	-	129983,5	0,03
Radiasi	-	-	-	-	1809,1	-	-	4778,2	0,00
Infiltrasi	-	-	-	-	3440,2	3943,6	-	7383,8	0,00
Penerangan	245100,0	86880,0	46128,0	180648,0	172296,0	39552,0	39936,0	3394668,0	0,79
Penghuni	23715,0	14025,0	10200,0	39270,0	48195,0	14025,0	15300,0	461895,0	0,11
Peralatan	21115,9	9637,7	8178,9	24215,5	26277,7	12998,2	6533,0	222782,2	0,05
Duct	888,9	3332,0	1243,8	1300,9	1267,1	2320,6	1354,8	36611,2	0,01
Total	290819,8	113874,7	77990,7	277049,7	279217,7	72839,4	63123,8	4270341,9	1







Gambar 4.6 Distribusi Beban Pendinginan Total Area *Food Court*

Dari diagram diatas, dapat dilihat penyumbang panas terbesar ada pada penerangan, kemudian diikuti oleh peralatan listrik, dan beban penghuni . Penyebaran beban pendinginan ini membuat kenyataan yang terlihat dilapangan semakin logis. Sebab, semakin mendekati area stan yang fungsinya sebagai dapur, maka semakin terasa tidak nyaman. Dalam hal ini, area tersebut mengalami kenaikan suhu walaupun berada di daerah yang telah dikondisikan.

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Beban pendinginan total untuk seluruh area lantai 3 sebesar 5640925,89 Btu/hr dengan distribusi beban pendinginan untuk setiap AHU adalah 449406,14 untuk AHU 4-1, 131917 untuk AHU 4-2, 123438 untuk AHU 4-3, 637467 untuk AHU 4-4, 486916,09 untuk AHU 4-5, 487584,18 untuk AHU 4-6, 1442292 untuk AHU 4-8, 256824 untuk AHU 4-9, 372615,76 untuk AHU 4-10, 154659,23 untuk AHU 4-11, 93713,47 untuk AHU 4-12, 378518,80 untuk AHU 4-13, 406063,42 untuk AHU 4-14, 121624,87 untuk AHU 4-15, 97829,43 untuk AHU 4-16.
2. Dari perhitungan, didapatkan kebutuhan udara untuk setiap AHU adalah :
 - a. AHU 4-1, 8,87 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - b. AHU 4-2, 2,42 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - c. AHU 4-3, 2,24 m³/s dengan desain awal 6,61 m³/s
 - d. AHU 4-4, 12,7 m³/s dengan desain awal 6,79 m³/s
 - e. AHU 4-5, 9,84 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - f. AHU 4-6, 9,85 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - g. AHU 4-8, 26,29 m³/s dengan desain awal 5,66 m³/s
 - h. AHU 4-9, 4,83 m³/s dengan desain awal 4,81 m³/s
 - i. AHU 4-10, 7,24 m³/s dengan desain awal 3,11 m³/s
 - j. AHU 4-11, 2,83 m³/s dengan desain awal 5,66 m³/s
 - k. AHU 4-12, 1,64 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - l. AHU 4-13, 6,90 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - m. AHU 4-14, 6,95 m³/s dengan desain awal 4,74 m³/s
 - n. AHU 4-15, 1,81 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s
 - o. AHU 4-16, 1,57 m³/s dengan desain awal 7,55 m³/s

3. Dari perhitungan diketahui kebutuhan fan static pressure adalah :
- a. AHU 4-1, 1,00918 bar, dengan desain awal 0.7330 bar
 - b. AHU 4-2, 0.01288 bar, dengan desain awal 0.1245 bar
 - c. AHU 4-3, 0.01484 bar, dengan desain awal 0.1415 bar
 - d. AHU 4-4, 0.03822 bar, dengan desain awal 0.0108 bar
 - e. AHU 4-5, 3,15888 bar, dengan desain awal 1,8884 bar
 - f. AHU 4-6, 2,10289 bar, dengan desain awal 1,231 bar
 - g. AHU 4-8, 18,6594 bar, dengan desain awal 1,135 bar
 - h. AHU 4-9, 0.04815 bar, dengan desain awal 0.0481 bar
 - i. AHU 4-10, 0.01217 bar, dengan desain awal 0.0023 bar
 - j. AHU 4-11, 0.07834 bar, dengan desain awal 0.3133 bar
 - k. AHU 4-12, 0.00170 bar, dengan desain awal 0.0368 bar
 - l. AHU 4-13, 0.011161 bar, dengan desain awal 0.135 bar
 - m. AHU 4-14, 0.03600 bar, dengan desain awal 0.0167 bar
 - n. AHU 4-15, 0.00841 bar, dengan desain awal 0.1457 bar
 - o. AHU 4-16, 0.00009 bar, dengan desain awal 0.0020 bar

5.2 Saran

Sebagai pelengkap laporan tugas akhir ini, saran yang diberikan oleh penulis berhubungan dengan besarnya total beban pendinginan pada perhitungan ulang dari desain awal. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan penambahan air conditioner diluar ac sentral. Hal ini bertujuan untuk menurunkan suhu return air yang mengalami kenaikan akibat dari tingginya beban sensibel yang ditanggung Air Handling Unit. Dengan rendahnya temperature return air, maka besarnya temperature yang dialirkan ke area food court juga menjadi rendah.

halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdi, S. (2010). *Perencanaan Ulang Sistem Pengkondisian Udara pada Gedung Administrasi dan Operasional PT. Angkasa Pura I Bandara Internasional Juanda Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Handriana, T. (2011). *Perhitungan Ulang Sistem Pengkondisian Udara di Area Food Court Mall City of Tomorrow Surabaya*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. ASHRAE. (1997-2000). *Fundamentals Handbook*. ASHRAE Inc.
4. ASHRAE. 1977. *Fundamentals Handbook*. ASHRAE Inc.
5. Pita, Edward G. (1981). *Air Conditioning Principles And Systems An Energy Approach*. USA : John Willey & Sons.
6. Arismunandar, W and Saito, H. (2005). *Penyegaran Udara*. Jakarta : Pradnya Paramita.
7. McQuiston, Parker, and Spitler. (2005). *Heating Ventilating, And Air Conditioning*. USA : John Willey & Sons.
8. Stoecker, W. F. (1982). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.



9. Arora, C.P. (1983). *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi : Tata McGraw-Hill
10. Incropera, F.P. and Dewitt, D.P. (1996). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Fourth Edition*. New York: John Wiley and Sons inc.
11. Moran, M.J and Shapiro, H.N. (1996). *Fundamental of Engineering Thermodynamics Third Edition*. New York: John Willey and Sons inc.

LAMPIRAN A

Lampiran 1

Tabel 1.1

TABLE 1.1 RECOMMENDED ENERGY CONSERVING INDOOR AIR DESIGN CONDITIONS FOR HUMAN COMFORT

	Air Temperature (DB) F	Relative Humidity (RH) %	Maximum Air Velocity [*] FPM	Clothing Insulation clo
Winter	68-72	25-30	30	0.9
Summer	76-78	50-55	50	0.5

^{*} At occupant level.

Lampiran 2

Tabel A.7

TABLE A.7 OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT U FOR BUILDING CONSTRUCTION COMPONENTS, BTU/HR-FT²-F

Construction	U-Value in BTU/hr-ft ² -F	
	Summer	Winter
WALLS		
Frame with wood siding, sheathing, and inside finish:		
No insulation	.22	.23
R-7 insulation (2 in.-2½ in.)	.09	.09
R-11 insulation (3 in.-3½ in.)	.07	.07
Frame with 4 in. brick or stone veneer, sheathing, and inside finish:		
No insulation	.24	.24
R-7 insulation	.09	.09
R-11 insulation	.07	.07
Frame with 1 in. stucco, sheathing, and inside finish:		
No insulation	.29	.29
R-7 insulation	.10	.10
R-11 insulation	.07	.07
Masonry:		
8 in. concrete block, no finish	.49	.51
12 in. concrete block, no finish	.45	.47
Masonry (8 in. concrete block):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.29	.30
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.29	.30
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.13	.13
Masonry (8 in. cinder block or hollow clay tile):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.25	.25
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.17	.17
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.12	.12
Masonry (4 in. face brick and 8 in. cinder block or 8 in. hollow clay tile):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.22	.22
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.15	.16
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.12	.12
Masonry (12 in. hollow clay tile or 12 in. cinder block):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.24	.24
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.16	.17
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.12	.12
Masonry (4 in. face brick, 4 in. common brick):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.28	.28
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.18	.19
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.13	.13
Masonry (8 in. concrete or 8 in. stone):		
Inside finish:		
furred gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.23	.24
furred, foil-backed gypsum wallboard (½ in.); no insulation	.21	.21
1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.14	.14
Metal with vinyl inside finish, R-7 (3 in. glass fiber batt)	.14	.14
PARTITIONS		
Frame (½ in. gypsum wallboard one side only):	.55	.55
No insulation		
Frame (½ in. gypsum wallboard each side):		
No insulation	.31	.31
R-11 insulation	.08	.08
Masonry (4 in. cinder block):		
No insulation, no finish	.40	.40
No insulation, one side furred gypsum wallboard (½ in.)	.26	.26
No insulation, both sides furred gypsum wallboard (½ in.)	.19	.19
One side 1 in. polystyrene insulation board (R-5), and ½ in. gypsum wallboard	.13	.13

Lampiran 3

Tabel A.7 (lanjutan)

TABLE A.7 (Continued)

Construction	U-Value in BTU/hr-ft ² -F	
	Summer	Winter
CEILING-FLOOR		
Frame (asphalt tile floor, 1/4 in. plywood, 3/4 in. wood subfloor, finished ceiling):		
Heat flow up	.23	.23
Heat flow down	.20	.19
Concrete (asphalt tile floor, 4 in. concrete deck, air space, finished ceiling):		
Heat flow up	.34	.33
Heat flow down	.26	.25
ROOF (flat roof, no finished ceiling)		
Steel deck:		
No insulation	.64	.86
1 in. insulation (R-2.78)	.23	.25
2 in. insulation (R-5.56)	.15	.16
1 in. Wood deck:		
No insulation	.40	.48
1 in. insulation (R-2.78)	.19	.21
2 in. insulation (R-5.56)	.12	.13
2.5 in. Wood deck:		
No insulation	.25	.26
1 in. insulation (R-2.78)	.15	.16
2 in. insulation (R-5.56)	.10	.11
4 in. Wood deck:		
No insulation	.17	.18
1 in. insulation (R-2.78)	.12	.12
2 in. insulation (R-5.56)	.09	.09
ROOF-CEILING (flat roof, finished ceiling)		
Steel deck:		
No insulation	.33	.40
1 in. insulation (R-2.78)	.17	.19
2 in. insulation (R-5.56)	.12	.13
1 in. Wood deck:		
No insulation	.26	.29
1 in. insulation (R-2.78)	.15	.16
2 in. insulation (R-5.56)	.11	.11
2.5 in. Wood deck:		
No insulation	.18	.20
1 in. insulation (R-2.78)	.12	.13
2 in. insulation (R-5.56)	.09	.10
4 in. Wood deck:		
No insulation	.14	.15
1 in. insulation (R-2.78)	.10	.10
2 in. insulation (R-5.56)	.08	.08
4 in. Lightweight concrete deck:		
No insulation	.14	.15
6 in. Lightweight concrete deck:		
No insulation	.10	.11
8 in. Lightweight concrete deck:		
No insulation	.08	.09
2 in. Heavyweight concrete deck:		
No insulation	.32	.38
1 in. insulation (R-2.78)	.17	.19
2 in. insulation (R-5.56)	.11	.12
4 in. Heavyweight concrete deck:		
No insulation	.30	.36
1 in. insulation (R-2.78)	.16	.18
2 in. insulation (R-5.56)	.11	.12
6 in. Heavyweight concrete deck:		
No insulation	.28	.33
1 in. insulation (R-2.78)	.16	.17
2 in. insulation (R-5.56)	.11	.12

Lampiran 4

Tabel A.7 (lanjutan)

TABLE A.7 (Continued)

Construction	U-Value in BTU/hr-ft ² -F	
	Summer	Winter
ROOF-CEILING (wood frame pitched roof, finished ceiling on rafters)		
No insulation	.28	.29
R-19 insulation (5½ in.-6½ in.)	.05	.05
ROOF-ATTIC-CEILING (attic with natural ventilation)		
No insulation	.15	.29
R-19 insulation (5½ in.-6½ in.)	.04	.05
FLOORS		
Floor over unconditioned space, no ceiling:		
Wood frame:		
No insulation	.33	.27
R-7 insulation (2 in.-2½ in.)	.09	.08
Concrete deck:		
No insulation	.59	.43
R-7 insulation	.10	.09
DOORS		
Solid wood:		
1 in. thick	.61	.64
1½ in. thick	.47	.49
2 in. thick	.42	.43
Steel:		
1½ in. thick, mineral fiber core	.58	.59
1½ in. thick, polystyrene core	.46	.47
1½ in. thick, urethane foam core	.39	.40

Lampiran 5

Tabel A.8

TABLE A.8 OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT U FOR GLASS
(BTU/HR-FT²-F) (For glass installed vertically)

Type of Glazing	Type of Frame (Sash)			
	Aluminum (with thermal break)		Wood or Vinyl	
	Winter	Summer	Winter	Summer
Single glass	1.10	1.01	0.98	0.90
Double glass				
$\frac{1}{8}$ in. air space	0.60	0.56	0.51	0.47
$\frac{1}{8}$ in. air space E-film	0.48	0.45	0.39	0.37
Triple Glass				
$\frac{1}{8}$ in. air space	0.46	0.43	0.38	0.36
$\frac{1}{8}$ in. argon space	0.34	0.33	0.25	0.24

Note: E-film is a reflective coating ($E = 0.15$).

Abridged with permission from the 1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 6

Tabel 6.1

TAB. 6.1 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD-F) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM FLAT ROOFS, F

Roof No.	Description of Construction	Weight, lb/ft ²	U-value, Btu/hr-ft ² -°F	Solar Time																								Hour of Day				
																												Max-imum CLTD	Min-imum CLTD	Max-imum CLTD	Differ-ence CLTD	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Without Suspended Ceiling																																
1	Steel sheet with 1-in. (or 2-in.) insulation	7 (0.124)	0.213	1	-2	-3	-3	-3	-3	6	19	34	49	61	71	78	79	77	70	59	45	30	18	12	8	5	3	14	-5	79	84	
2	1-in. wood with 1-in. insulation	8	0.170	6	3	0	-1	-3	-3	-2	4	14	27	39	52	62	70	74	74	70	62	51	38	28	20	14	9	16	-3	74	77	
3	4-in. lightweight concrete	18	0.213	9	5	2	0	-2	-3	-3	1	9	20	32	44	55	64	70	73	71	66	57	45	34	25	18	13	16	-3	73	76	
4	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	29 (0.122)	0.206	12	8	5	3	0	-1	-1	3	11	20	30	41	51	59	65	66	66	62	54	43	36	29	22	17	16	-1	67	68	
5	1-in. wood with 2-in. insulation	9	0.109	3	0	-1	-4	-5	-7	-6	-3	5	16	27	39	49	57	64	67	67	62	57	48	37	26	18	11	7	16	-7	64	71
6	4-in. lightweight concrete	24	0.158	22	17	12	9	6	3	1	1	3	7	15	23	33	43	51	58	62	64	62	57	50	42	35	28	18	1	64	63	
7	2 1/2-in. wood with 1-in. ins.	13	0.120	29	24	20	16	13	10	7	6	6	9	13	20	27	34	42	48	53	55	56	54	49	44	39	34	19	6	56	50	
8	2-in. lightweight concrete	31	0.126	33	30	26	22	18	14	11	9	7	7	9	13	19	25	33	39	45	50	53	54	53	49	45	40	20	7	54	47	
9	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	32 (0.100)	0.220	25	22	18	15	12	9	8	8	10	14	20	26	33	40	46	50	53	53	52	48	43	38	34	30	18	8	53	45	
10	2 1/2-in. wood with 1 in. ins.	15	0.093	30	26	23	19	16	13	10	9	8	9	13	17	23	29	36	41	46	49	51	50	47	43	39	35	19	-1	51	43	
11	Sand terrace system	75	0.106	34	31	28	25	22	19	16	14	13	13	16	22	26	31	36	40	44	45	45	45	43	40	37	20	13	46	33		
12	6-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	75 (0.117)	0.192	31	28	25	22	20	17	15	14	14	16	18	22	26	31	36	40	43	45	45	44	42	40	37	34	19	14	45	31	
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	17 (0.079)	0.106	28	26	33	30	28	25	22	20	18	17	14	17	18	21	24	28	32	36	39	41	43	43	42	40	22	16	43	27	

Lampiran 7

Tabel 6.1 (lanjutan)

TABLE 6.1 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM FLAT ROOFS, F (Continued)

Roof No.	Description of Construction	Weight, lb/sq ft	U-value, Btu/hr·ft ² ·°F	Solar Time																								Hour of Day			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	CLTD	Min-max CLTD	Max-min CLTD	Difference
With Suspended Ceiling																															
1	2-in. sheetrock with 1-in. (or 2-in.) insulation	9 (10)	0.124 (0.092)	2	0	-2	-3	-4	-4	-1	9	23	37	50	62	71	77	78	74	67	56	42	28	18	12	8	5	15	-4	78	82
2	1-in. wood with 1-in. ins.	19	0.115	20	15	11	8	5	3	2	3	7	13	21	30	40	48	55	60	62	61	58	51	44	37	30	25	17	2	62	69
3	4-in. lightweight concrete	20	0.154	19	14	10	7	4	2	0	0	4	10	19	29	39	48	56	62	65	64	61	54	46	38	30	24	17	0	65	65
4	2-in. heavyweight concrete with 1-in. insulation	30	0.131	28	25	23	20	17	15	13	14	16	20	25	30	35	39	43	46	47	46	44	41	38	35	32	28	18	13	47	54
5	1-in. wood with 2-in. ins.	10	0.083	23	20	16	13	10	7	5	5	7	12	18	23	33	41	48	53	57	57	56	52	46	40	34	29	18	5	57	59
6	4-in. lightweight concrete	26	0.109	32	28	23	19	16	13	10	8	7	8	11	16	22	29	36	42	48	52	54	54	54	47	42	37	20	7	54	47
7	2.5-in. wood with 1-in. insulation	15	0.096	34	31	29	26	23	21	18	16	15	15	18	21	25	30	34	38	41	43	44	44	42	40	37	31	15	44	44	29
8	2-in. lightweight concrete	33	0.093	39	36	3	5	29	26	23	20	18	15	14	14	15	17	20	25	29	34	38	42	45	46	44	42	21	14	46	32
9	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) ins.	53 (54)	0.108 (0.090)	30	29	27	26	24	22	21	20	20	21	22	24	27	29	32	34	36	38	38	37	36	34	33	19	20	38	18	
10	1.5-in. wood with 2-in. ins.	15	0.072	35	33	30	28	26	24	22	20	18	18	20	22	25	28	32	35	38	40	41	41	40	39	37	21	18	41	23	
11	Roof terrace system	77	0.082	30	29	28	27	26	25	24	23	22	22	22	23	25	26	28	29	31	32	33	33	33	33	32	22	22	33	11	
12	4-in. heavyweight concrete with 1-in. (or 2-in.) insulation	77 (77)	0.125 (0.080)	29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	22	23	25	26	28	30	32	33	34	34	34	33	32	31	20	21	34	13
13	4-in. wood with 1-in. (or 2-in.) insulation	19 (20)	0.252 (0.064)	35	34	33	32	31	29	27	26	24	25	22	21	22	23	24	25	27	30	32	34	35	36	37	36	23	21	37	16

Reprinted with permission from the 1999 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 8

Tabel 6.2

TABLE 6.2 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CALCULATING COOLING LOAD FROM SUNLIT WALLS, °F

Solar Time, h																										Hr of Mean-Max-Min-Once							
P:00 0:00 3:00 04:00 06:00 08:00 09:00 08:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00																										CLTD CLTD CLTD							
North Latitude Wall Facing																																	
Group A Walls																																	
N	4	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	14	14	2	10	14	4								
NE	4	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	16	16	17	18	18	19	19	20	20	20	22	15	20	5								
E	24	24	23	22	21	20	19	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	24	22	18	24	6							
SE	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	23	14	20	6							
S	12	25	25	24	23	22	21	20	19	18	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8								
SW	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	21	18	27	9							
W	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	14	21	7							
NW	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	12	13	15	17	21	25	29	32	33	23	14	31	26	16						
Group B Walls																																	
N	4	14	13	12	11	11	10	9	8	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	24	8	15	7								
NE	4	18	17	16	15	14	13	12	12	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	21	21	20	11	12	21	9						
E	22	21	20	18	17	16	15	15	14	14	15	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24	20	15	27	12						
SE	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	24	21	14	26	12						
S	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	11	11	12	12	13	14	15	17	19	20	21	22	22	21	23	11	22						
SW	12	25	24	22	21	20	19	18	16	15	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	15						
W	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	22	25	27	29	30	30	24	14	31	26	16						
NW	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	12	13	15	17	21	25	29	32	33	23	14	31	23	9						
Group C Walls																																	
N	4	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	7	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	16	22	7	17	10				
NE	4	17	16	14	13	12	11	10	11	11	10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	20	20	10	13					
E	21	19	17	15	14	12	12	12	13	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	24	18	12	20					
SE	21	19	17	15	14	12	12	12	13	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	24	19	12	29					
S	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	19	16	17					
SW	12	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	19	16	17					
W	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	19	16	17					
NW	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	37	17						
Group D Walls																																	
N	4	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13					
NE	4	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	25	26	28	29	30	30	30	28	24	22	16	7	25	18					
E	20	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25					
SE	20	17	15	13	11	10	8	9	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	6	32	24					
S	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23						
SW	12	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30						
W	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	8	41	32						
NW	22	21	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	27	22	7	32	25						
Group E Walls																																	
N	4	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19					
NE	4	11	9	7	6	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19					
E	12	10	8	6	5	3	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19				
SE	12	10	8	6	5	3	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19				
S	10	8	6	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19			
SW	12	10	8	6	5	3	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19				
W	21	17	14	11	9	7	6	5	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19				
NW	14	10	8	6	4	3	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	25	26	16	14	20	3	22	19				
Group F Walls																																	
N	1	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
NE	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
E	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
SE	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
S	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
SW	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
W	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
NW	1	7	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	25	26	22	16	13	11	1	23	23					
Group G Walls																																	
N	4	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	7	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	16	22	7	17	10				
NE	4	17	16	14	13	12	11	10	11	11	10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	20	20	10	13					
E	21	19	17	15	14	12	12	12	13	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	24	18	12	20					
SE	21	19	17	15	14	12	12	12	13	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	24	19	12	29					
S	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	19	16	17					
SW	12	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	19	16	17					
W	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	19	16	17					
NW	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	37	17						

Lampiran 9

Tabel 6.3

TABLE 6.3 WALL CONSTRUCTION GROUP DESCRIPTION

Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U-Value (BTU/h•ft ² •°F)
4-in. Face brick + (brick)			
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358
D	4-in. common brick	90	0.415
C	1-in. insulation + air space + 4-in. common brick	90	0.174–0.301
B	2-in. insulation + 4-in. common brick	88	0.111
A	8-in. common brick	130	0.302
A	Insulation or air space + 8-in. common brick	130	0.154–0.243
4-in. Face brick + (heavyweight concrete)			
C	Air space + 2-in. concrete	94	0.350
B	2-in. insulation + 4-in. concrete	97	0.116
A	Air space or insulation + 8-in. or more concrete	143–190	0.110–0.112
4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block)			
E	4-in. block	62	0.319
D	Air space or insulation + 4-in. block	62	0.153–0.246
D	8-in. block	70	0.274
C	Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in. block	73–89	0.221–0.275
B	2-in. insulation + 8-in. block	89	0.096–0.107
4-in. Face brick + (clay tile)			
D	4-in. tile	71	0.381
D	Air space + 4-in. tile	71	0.281
C	Insulation + 4-in. tile	71	0.169
C	8-in. tile	96	0.275
B	Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile	96	0.142–0.221
A	2-in. insulation + 8-in. tile	97	0.097
Heavyweight concrete wall + (finish)			
E	4-in. concrete	63	0.585
D	4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	63	0.119–0.200
C	2-in. insulation + 4-in. concrete	63	0.119
C	8-in. concrete	109	0.490
B	8-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	110	0.115–0.187
A	2-in. insulation + 8-in. concrete	110	0.115
B	12-in. concrete	156	0.421
A	12-in. concrete + insulation	156	0.113
Light and heavyweight concrete block + (finish)			
F	4-in. block + air space/insulation	29	0.161–0.263
E	2-in. insulation + 4-in. block	29–37	0.105–0.114
E	8-in. block	47–51	0.294–0.402
D	8-in. block + air space/insulation	41–57	0.149–0.173
Clay tile + (finish)			
F	4-in. tile	39	0.419
F	4-in. tile + air space	39	0.303
E	4-in. tile + 1-in. insulation	39	0.175
D	2-in. insulation + 4-in. tile	40	0.110
D	8-in. tile	63	0.296
C	8-in. tile + air space/1-in. insulation	63	0.151–0.231
B	2-in. insulation + 8-in. tile	63	0.099
Metal curtain wall			
G	With/without air space + 1- to 3-in. insulation	5–6	0.091–0.230
Frame wall			
G	1-in. to 3-in. insulation	16	0.081–0.178

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 10

Tabel 6.4

TABLE 6.4 CLTD CORRECTION FOR LATITUDE AND MONTH APPLIED TO WALLS AND ROOFS, NORTH LATITUDES, F

Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	NOR
0	Dec	-3	-5	-5	-5	-2	0	3	6	9	-1
	Jan/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	0
	Apr/Aug	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
	Jun	12	9	5	0	-3	-7	-8	-10	-8	-5
8	Dec	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Jan/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
	Jun	9	6	4	0	-2	-6	-8	-9	-7	-2
16	Dec	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Jan/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Apr/Aug	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
	Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	0	-7
24	Dec	-5	-7	-9	-10	-7	-3	3	9	13	-13
	Jan/Nov	-4	-6	-8	-9	-6	-3	9	3	13	-11
	Feb/Oct	-4	-5	-6	-6	-3	-1	3	7	10	-7
	Mar/Sept	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-3
	Apr/Aug	-2	-1	0	-1	-1	-2	-1	-2	-3	0
	May/Jul	1	2	2	0	0	-3	-3	-5	-6	1
	Jun	3	3	3	1	0	-3	-4	-6	-6	1
32	Dec	-5	-7	-10	-11	-8	-5	2	9	12	-17
	Jan/Nov	-5	-7	-9	-11	-8	-15	-4	2	9	12
	Feb/Oct	-4	-6	-7	-8	-4	-2	4	8	11	-10
	Mar/Sept	-3	-4	-4	-4	-2	-1	3	5	7	-5
	Apr/Aug	-2	-2	-1	-2	0	-1	0	1	1	-1
	May/Jul	1	1	1	0	0	-1	-1	-3	-3	1
	Jun	1	2	2	1	0	-2	-2	-4	-4	2
40	Dec	-6	-8	-10	-13	-10	-7	0	7	10	-21
	Jan/Nov	-5	-7	-10	-12	-9	-6	1	8	11	-19
	Feb/Oct	-5	-7	-8	-9	-6	-3	3	6	12	-14
	Mar/Sept	-4	-5	-5	-6	-3	-1	4	7	10	-8
	Apr/Aug	-2	-3	-2	-2	0	0	2	3	4	-3
	May/Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Jun	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	2
48	Dec	-6	-8	-11	-14	-13	-10	-3	2	6	-25
	Jan/Nov	-6	-8	-11	-13	-11	-8	-1	5	8	-26
	Feb/Oct	-5	-7	-10	-11	-8	-5	1	8	11	-18
	Mar/Sept	-4	-6	-6	-7	-4	-1	4	8	11	-11
	Apr/Aug	-3	-3	-3	-3	-1	0	4	6	7	-5
	May/Jul	0	-1	0	0	1	1	3	3	4	0
	Jun	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 11

Tabel 6.5

TABLE 6.5 COOLING LOAD TEMPERATURE DIFFERENCES (CLTD) FOR CONDUCTION THROUGH GLASS

Solar Time, h	CLTD °F	Solar Time, h	CLTD °F
0100	1	1300	12
0200	0	1400	13
0300	-1	1500	14
0400	-2	1600	14
0500	-2	1700	13
0600	-2	1800	12
0700	-2	1900	10
0800	0	2000	8
0900	2	2100	6
1000	4	2200	4
1100	7	2300	3
1200	9	2400	2

Reprinted with permission from the 1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 12

Tabel 6.6

[illegible]

Lampiran 13

Tabel 6.6 (lanjutan)

TABLE 6.6 MAXIMUM SOLAR HEAT GAIN FACTOR (SHGF) BTU/HR • FT² FOR SINGL GLASS, NORTH LATITUDES

20° N. Lat											36° N. Lat										
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR	
(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW				(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
Jan. 27	48	138	261	263	235	183	114	252			Jan. 22	72	24	90	166	219	247	252	252	133	
Feb. 31	31	88	173	226	244	238	201	174	263		Feb. 26	26	57	139	195	239	248	239	232	199	
Mar. 34	49	132	200	237	236	206	152	115	284		Mar. 30	33	99	176	223	238	232	206	192	238	
Apr. 38	92	166	213	228	208	158	91	58	287		Apr. 35	76	144	196	225	221	196	156	135	262	
May 47	123	184	217	217	184	124	54	42	283		May 38	107	168	204	220	204	165	116	91	272	
June 59	135	189	216	210	173	108	45	42	279		June 47	118	175	205	215	194	150	99	77	273	
July 48	124	182	213	212	179	119	53	43	278		July 39	107	165	201	216	199	161	113	90	263	
Aug. 40	91	162	206	220	200	152	38	57	280		Aug. 36	75	138	190	218	212	189	151	131	257	
Sep. 36	46	127	191	225	225	199	148	114	275		Sep. 31	31	95	167	210	228	223	200	187	230	
Oct. 32	32	87	167	217	236	231	196	170	258		Oct. 27	27	56	133	187	230	239	231	225	195	
Nov. 29	29	48	136	197	239	249	229	211	230		Nov. 22	22	24	87	163	215	243	248	248	154	
Dec. 27	37	35	122	187	238	254	241	226	217		Dec. 20	20	20	69	151	204	241	253	254	136	

24° N. Lat											40° N. Lat										
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR	
(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW				(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
Jan. 27	41	128	190	240	253	241	227	214			Jan. 20	20	20	74	154	205	241	252	254	133	
Feb. 30	30	80	165	220	244	243	213	192	249		Feb. 24	24	50	129	186	234	246	244	241	189	
Mar. 34	45	124	195	234	237	214	168	137	275		Mar. 29	29	93	169	218	238	236	215	206	255	
Apr. 37	88	159	209	228	212	169	107	75	283		Apr. 34	71	140	190	224	223	203	170	154	259	
May 47	117	178	214	218	190	132	67	46	282		May 37	102	165	202	220	208	153	113	91	263	
June 53	127	184	214	212	179	117	55	43	279		June 48	113	172	205	216	199	161	116	95	267	
July 45	116	176	210	213	185	129	65	46	278		July 38	102	163	198	216	203	170	129	109	262	
Aug. 38	87	156	203	220	204	162	103	72	277		Aug. 35	71	135	185	216	214	196	165	149	247	
Sep. 35	42	119	185	222	225	206	163	134	266		Sep. 30	30	87	160	203	227	226	209	200	215	
Oct. 31	31	79	159	211	237	235	207	187	244		Oct. 25	25	49	123	180	225	238	236	234	177	
Nov. 27	27	42	126	187	236	249	237	224	213		Nov. 20	20	20	73	151	201	237	248	250	133	
Dec. 26	26	29	112	180	234	247	247	237	199		Dec. 18	18	18	60	135	188	232	249	253	113	

28° N. Lat											44° N. Lat										
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR	
(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW				(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
Jan. 25	25	35	117	183	235	251	247	238	196		Jan. 17	17	17	64	138	189	232	248	252	109	
Feb. 29	29	72	157	213	244	246	224	207	234		Feb. 22	22	43	117	178	227	246	248	247	160	
Mar. 33	41	116	189	231	237	221	182	157	265		Mar. 27	27	67	162	211	236	238	224	218	206	
Apr. 36	84	151	205	228	216	178	124	94	278		Apr. 33	66	136	185	221	224	210	183	171	240	
May 40	115	172	211	219	195	144	83	58	280		May 36	96	162	201	219	211	183	148	132	257	
June 51	125	178	211	213	184	128	68	49	278		June 47	108	169	205	215	203	171	132	115	261	
July 41	114	170	208	215	190	140	80	57	276		July 37	96	159	198	215	206	179	144	128	254	
Aug. 38	83	149	199	220	207	172	120	91	272		Aug. 34	66	132	180	214	215	202	177	165	236	
Sep. 34	38	111	179	219	226	213	177	154	256		Sep. 28	28	80	152	198	226	227	216	211	199	
Oct. 30	30	71	151	204	236	238	217	202	229		Oct. 23	23	42	111	171	217	237	240	239	157	
Nov. 26	26	35	115	181	232	247	243	235	195		Nov. 18	18	18	64	135	186	227	244	248	109	
Dec. 24	24	24	99	172	227	248	251	246	179		Dec. 15	15	15	49	115	175	217	240	246	89	

32° N. Lat											48° N. Lat										
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR	
(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW				(Shade)	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW			
Jan. 24	24	29	105	175	229	249	250	246	176		Jan. 15	15	15	53	118	175	216	239	245	85	
Feb. 27	27	65	149	205	242	248	232	221	217		Feb. 20	20	36	103	168	216	242	249	250	138	
Mar. 32	37	107	183	227	237	227	195	176	252		Mar. 26	26	80	154	204	234	239	232	228	188	
Apr. 36	80	146	200	227	219	187	141	115	271		Apr. 31	61	132	180	219	225	215	194	186	226	
May 38	111	170	208	220	199	155	99	74	277		May 35	97	158	200	218	214	192	163	150	247	
June 44	122	176	208	214	189	139	63	60	276		June 46	110	165	204	215	206	180	148	134	252	
July 40	111	167	204	215	194	150	96	72	273		July 37	96	156	196	214	209	187	158	146	244	
Aug. 37	79	141	195	219	210	181	136	111	265		Aug. 33	61	128	174	211	216	208	188	180	223	
Sep. 33	35	103	173	215	227	218	189	171	244		Sep. 27	27	72	144	191	223	228	223	220	182	
Oct. 28	28	63	143	195	234	239	225	215	213		Oct. 21	21	35	96	161	207	233	241	242	136	
Nov. 24	24	29	103	173	225	245	246	243	175		Nov. 15	15	15	52	115	172	212	234	240	85	
Dec. 22	22	22	84	162	218	246	252	252	158		Dec. 13	13	13	36	91	156	195	225	233	65	

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 14

Tabel 6.7

TABLE 6.7 SHADING COEFFICIENTS FOR GLASS WITHOUT OR WITH INTERIOR SHADING DEVICES

Type of Glazing	Nominal Thickness, in (Each light)	With Interior Shading				
		Venetian Blinds		Roller Shades		Translucent
		Without Shading	Without Shading	Opaque	Light	
Single glass						
Clear	1/4	0.94	0.74	0.67	0.39	0.44
Heat absorbing	1/4	0.69	0.57	0.53	0.30	0.36
Double glass						
Clear	1/4	0.81	0.62	0.58	0.35	0.40
Heat absorbing	1/4	0.55	0.39	0.36	0.22	0.30

Note: Venetian blinds are assumed set at a 45° position. Adapted with permission from the 1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 15

Tabel 6.8

TABLE 6.8 COOLING LOAD FACTORS (CLF) FOR GLASS WITHOUT INTERIOR SHADING, IN NORTH LATITUDE SPACES HAVING CARPETED FLOORS

Room		Solar Time																									
		Dir.	Mass	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L		.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00	
	M		.03	.02	.02	.02	.02	.64	.69	.69	.77	.84	.91	.94	.95	.91	.86	.79	.79	.56	.32	.16	.10	.07	.05	.04	
	H		.10	.09	.08	.07	.07	.62	.64	.64	.71	.77	.83	.87	.88	.85	.81	.75	.76	.55	.34	.22	.17	.15	.13	.11	
NE	L		.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00	
	M		.01	.01	.00	.00	.01	.50	.78	.82	.67	.44	.32	.28	.26	.24	.22	.19	.15	.11	.05	.03	.02	.02	.01	.01	
	H		.03	.03	.03	.02	.03	.47	.71	.72	.59	.40	.30	.27	.26	.25	.23	.20	.17	.13	.08	.06	.05	.05	.04	.04	
E	L		.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00	
	M		.01	.01	.00	.00	.01	.41	.72	.86	.84	.71	.48	.30	.24	.21	.18	.16	.13	.09	.04	.03	.02	.01	.01	.01	
	H		.03	.03	.03	.02	.02	.39	.66	.76	.74	.63	.43	.29	.24	.22	.20	.18	.15	.12	.08	.06	.05	.05	.04	.04	
SE	L		.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00	
	M		.01	.01	.01	.00	.01	.26	.55	.77	.88	.87	.76	.56	.37	.29	.24	.20	.16	.11	.05	.04	.03	.02	.02	.02	.01
	H		.04	.04	.03	.03	.03	.26	.51	.69	.78	.78	.68	.51	.35	.29	.25	.22	.19	.15	.09	.08	.07	.06	.05	.05	
S	L		.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00	
	M		.01	.01	.01	.01	.01	.07	.14	.22	.38	.59	.78	.88	.88	.76	.57	.38	.28	.18	.09	.06	.04	.03	.02	.02	
	H		.05	.05	.04	.04	.03	.09	.15	.21	.35	.54	.70	.79	.79	.69	.52	.37	.29	.21	.13	.10	.09	.08	.07	.06	
SW	L		.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00	
	M		.02	.02	.01	.01	.01	.05	.09	.13	.16	.19	.22	.38	.60	.78	.89	.89	.77	.52	.20	.10	.07	.05	.04	.03	
	H		.07	.06	.05	.05	.04	.07	.11	.14	.16	.18	.21	.35	.55	.71	.80	.79	.69	.48	.20	.14	.11	.10	.08	.07	
W	L		.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00	
	M		.02	.02	.01	.01	.01	.04	.07	.10	.13	.14	.16	.17	.30	.53	.74	.87	.88	.69	.24	.12	.07	.05	.04	.03	
	H		.06	.06	.05	.04	.04	.06	.09	.11	.13	.15	.16	.17	.28	.49	.67	.78	.79	.62	.23	.14	.11	.09	.08	.07	
NW	L		.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00	
	M		.02	.02	.01	.01	.01	.05	.10	.13	.17	.19	.21	.22	.23	.30	.52	.75	.88	.77	.26	.12	.07	.05	.04	.03	
	H		.06	.05	.05	.04	.04	.07	.11	.14	.17	.19	.20	.21	.22	.28	.48	.68	.79	.69	.23	.14	.10	.09	.08	.07	
Hor.	L		.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.06	.03	.01	.00	.00	.00	
	M		.02	.02	.01	.01	.01	.08	.24	.43	.60	.75	.86	.92	.92	.87	.77	.63	.45	.26	.12	.07	.05	.04	.03	.02	
	H		.07	.06	.05	.05	.04	.11	.25	.41	.56	.68	.77	.83	.83	.80	.71	.59	.44	.28	.17	.13	.11	.10	.09	.08	

Values for nominal 15 ft by 15 ft by 10 ft high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at fixed orientation.

L = Lightweight construction, such as 1 in. wood floor, Group G wall.

M = Mediumweight construction, such as 2 to 4 in. concrete floor, Group E wall.

H = Heavyweight construction, such as 6 to 8 in. concrete floor, Group C wall.

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 16

Tabel 6.8 (lanjutan)

TABLE 6.9 COOLING LOAD FACTORS (CLF) FOR GLASS WITHOUT INTERIOR SHADING, IN NORTH LATITUDE SPACES HAVING UNCARPETED FLOORS

Room		Solar Time																							
Dir.	Mass	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
	M	.12	.09	.07	.06	.05	.33	.45	.53	.61	.69	.76	.82	.85	.86	.85	.81	.80	.70	.60	.43	.32	.24	.19	.15
	H	.24	.21	.19	.18	.16	.43	.48	.51	.56	.61	.66	.71	.73	.74	.73	.71	.71	.62	.52	.42	.36	.32	.29	.26
NE	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.88	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.05	.02	.02	.02	.02	.24	.45	.57	.58	.49	.41	.36	.32	.29	.27	.24	.21	.17	.13	.10	.07	.06	.05	.04
	H	.08	.07	.07	.06	.06	.27	.43	.49	.45	.37	.32	.29	.28	.27	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.12	.11	.10	.09
E	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.01	.21	.41	.57	.65	.64	.55	.44	.36	.31	.26	.23	.19	.16	.12	.09	.07	.06	.04	.04
	H	.08	.08	.07	.06	.06	.24	.40	.50	.53	.50	.41	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.13	.11	.10	.09
SE	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.04	.03	.02	.02	.02	.13	.31	.48	.62	.69	.69	.61	.50	.41	.35	.30	.25	.20	.15	.12	.09	.07	.06	.05
	H	.10	.09	.08	.08	.07	.18	.32	.45	.53	.56	.54	.47	.39	.35	.32	.29	.26	.23	.19	.17	.15	.14	.12	.11
S	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
	M	.05	.04	.04	.03	.02	.05	.09	.14	.24	.38	.53	.65	.72	.71	.63	.52	.42	.33	.24	.18	.14	.11	.09	.07
	H	.13	.12	.10	.09	.09	.11	.14	.17	.25	.36	.47	.55	.58	.56	.49	.41	.36	.30	.25	.21	.19	.17	.16	.14
SW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.03	.05	.07	.09	.12	.15	.17	.26	.40	.54	.66	.73	.72	.61	.43	.31	.23	.17	.13	.10
	H	.15	.14	.12	.11	.10	.11	.12	.14	.15	.17	.18	.26	.37	.48	.56	.59	.57	.47	.33	.27	.23	.21	.19	.17
W	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.04	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.15	.21	.35	.50	.63	.71	.67	.46	.33	.24	.18	.14	.11
	H	.14	.13	.12	.11	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.21	.33	.45	.54	.58	.52	.33	.26	.22	.19	.18	.16
NW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
	M	.08	.06	.05	.04	.03	.05	.07	.10	.13	.15	.17	.19	.20	.24	.36	.51	.64	.66	.46	.32	.23	.17	.13	.10
	H	.13	.12	.11	.10	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.17	.18	.19	.23	.33	.46	.55	.53	.33	.25	.21	.18	.16	.15
Hor.	L	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
	M	.07	.06	.05	.04	.03	.06	.14	.25	.40	.53	.64	.73	.78	.80	.77	.70	.59	.45	.33	.24	.19	.14	.11	.09
	H	.16	.15	.13	.12	.11	.13	.20	.29	.39	.48	.56	.61	.65	.65	.63	.57	.49	.40	.32	.26	.22	.20	.18	.16

Values for rooms 15 ft by 15 ft by 10 ft high space, with ceiling and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.

L = Lightweight construction, such as 1 in. wood box, Group C wall.

M = Mediumweight construction, such as 2 to 4 in. concrete floor, Group C wall.

H = Heavyweight construction, such as 6 to 8 in. concrete floor, Group C wall.

Reprinted with permission from the 1989 ASHRAE Handbook—Fundamentals.

Lampiran 17

Tabel 6.15

Table 6.15
Ventilation Requirements for Occupants

	Estimated Persons per 1000 ft ² Floor Area	Required Ventilation, Air per Person	
		Minimum CFM	Recommended CFM
RESIDENTIAL			
Single-unit dwellings			
Living areas, bedrooms	5	5	7-10
Kitchens, baths, toilet rooms	—	20	30-50
Multiple-unit dwellings			
Living areas, bedrooms	7	5	7-10
Kitchens, baths, toilet rooms	—	20	30-50
COMMERCIAL			
Public rest rooms	100	15	20-25
Merchandising			
Sales floors (basement and ground floors)	20	7	10-15
Sales floor (upper floors)	20	7	10-15
Dining rooms	70	10	15-20
Kitchens	20	50	35
Cafeterias	100	30	35
Hotels, Motels			
Bedrooms	5	7	10-15
Living rooms	20	10	15-20
Baths, toilets	—	20	30-50
Beauty shops	20	25	10-35
Barber shops	25	7	10-15
Parking garages	—	1.5	2-5
Theaters			
Lobbies	150	20	25-30
Auditoriums (no smoking)	150	5	5-10
Auditoriums (smoking permitted)	150	10	10-20
Rolling alleys (seating area)	70	15	20-25
Gymnasiums and arenas			
Playing floors	70	20	25-50
Locker rooms	20	30	40-50
Spectator areas	150	20	25-30
Swimming pools	25	15	20-25
Offices			
General office space	10	15	15-25
Conference rooms	60	25	30-40
INSTITUTIONAL			
Schools			
Classrooms	50	30	20-15
Auditoriums	150	5	5-7.5
Gymnasiums	70	20	25-30
Libraries	20	7	10-12
Locker rooms	20	30	40-50
Hospitals			
Single, dual bedrooms	15	10	15-20
Wards	20	10	15-20
Operating rooms, delivery rooms	—	20	—

Lampiran C

Tabel Konversi Satuan

DIMENSION	METRIC	METRIC / ENGLISH
Acceleration	$1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ cm/s}^2$	$1 \text{ m/s}^2 = 3.2808 \text{ ft/s}^2$ $1 \text{ ft/s}^2 = 0.3048 \text{ m/s}^2$
Area	$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$ $= 10^6 \text{ km}^2$	$1 \text{ m}^2 = 1550 \text{ in}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0.09290304 \text{ m}^2$
Density	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbm/ft}^3 = 0.036127 \text{ lbm/in}^3$ $1 \text{ lbm/in}^3 = 1728 \text{ lbm/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbm/ft}^3$
Energy, heat, work, internal energy, enthalpy	$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 1000 \text{ N.m} = 1 \text{ kPa.m}^3$ $1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$ $1 \text{ ITcal} = 4.1868 \text{ J}$ $1 \text{ Cal} = 4.1868 \text{ kJ}$	$1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ Btu} = 1.055056 \text{ kJ}$ $= 5.40395 \text{ psia.ft}^3 = 778.169 \text{ lbf.ft}$ $1 \text{ Btu/lbm} = 25.037 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 2.326 \text{ kJ/kg}$ $1 \text{ kJ/kg} = 0.430 \text{ Btu/lbm}$ $1 \text{ kWh} = 3412.14 \text{ Btu}$ $1 \text{ therm} = 10^5 \text{ Btu} = 1.055 \times 10^5 \text{ kJ}$ (natural gas)
Force	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2 = 10^5 \text{ dyne}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$	$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm.ft/s}^2 = 4.44822 \text{ N}$ $1 \text{ N} = 0.22481 \text{ lbf}$
Heat flux	$1 \text{ W/cm}^2 = 10^4 \text{ W/m}^2$	$1 \text{ W/m}^2 = 0.3171 \text{ Btu/h.ft}^2$
Heat generation rate	$1 \text{ W/cm}^3 = 10^6 \text{ W/m}^3$	$1 \text{ W/m}^3 = 0.09665 \text{ Btu/h.ft}^3$
Heat transfer coefficient	$1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 0.17612 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
Length	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$ $1 \text{ km} = 100 \text{ m}$	$1 \text{ m} = 39.370 \text{ in} = 3.2808 \text{ ft} = 1.0926 \text{ yd}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 0.3048 \text{ m}$ $1 \text{ mile} = 5280 \text{ ft} = 1.6093 \text{ km}$ $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$
Mass	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ $1 \text{ metric ton} = 1000 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 2.2046226 \text{ lbm}$ $1 \text{ lbm} = 0.45359237 \text{ kg}$ $1 \text{ ounce} = 28.3495 \text{ g}$ $1 \text{ slug} = 32.174 \text{ lbm} = 14.5939 \text{ kg}$ $1 \text{ short ton} = 2000 \text{ lbm} = 907.1847 \text{ kg}$

Lampiran D (lanjutan)

DIMENSION	METRIC	METRIC / ENGLISH
Power, heat transfer rate	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1.341 \text{ hp}$ $1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$	$1 \text{ kW} = 3412.14 \text{ Btu/h}$ $= 737.56 \text{ lbf.ft/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf.ft/s} = 0.7068 \text{ Btu/s}$ $= 42.41 \text{ Btu/min} = 2544.5 \text{ Btu/h}$ $= 0.74570 \text{ kW}$ $1 \text{ boiler hp} = 33,475 \text{ Btu/h}$ $1 \text{ Btu/h} = 1.055056 \text{ kJ/h}$ $1 \text{ ton of refrigeration} = 200 \text{ Btu/min}$
Pressure	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ Mpa}$ $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars}$ $= 760 \text{ mmHg at } 0^\circ\text{C}$ $= 1.03323 \text{ kgf/cm}^2$ $1 \text{ mmHg} = 0.1333 \text{ kPa}$	$1 \text{ Pa} = 1.4504 \times 10^{-4} \text{ psia}$ $= 0.020886 \text{ lbf/ft}^2$ $1 \text{ psia} = 144 \text{ lbf/ft}^2 = 6.894757 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psia} = 29.92 \text{ in.Hg at } 30^\circ\text{F}$ $1 \text{ inHg} = 3.387 \text{ kPa}$
Specific heat	$1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ kJ/kg.K}$ $= 1 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$	$1 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F} = 4.1868 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ $1 \text{ Btu/lbmol.R} = 4.1868 \text{ kJ/kmol.K}$ $1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 0.23885 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F}$ $= 0.23885 \text{ Btu/lbm.R}$
Specific volume	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1000 \text{ L/kg}$ $= 1000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperature	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ $\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C}) =$	$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8 T(\text{K})$ $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$ $\Delta T(^{\circ}\text{F}) = \Delta T(\text{R}) = 1.8^{\circ} \Delta T(\text{K})$
Thermal conductivity	$1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ W/m.K}$	$1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 0.57782 \text{ Btu/h.ft} \cdot ^\circ\text{F}$
Thermal resistance	$1 ^\circ\text{C/W} = 1 \text{ K/W}$	$1 \text{ K/W} = 0.52750 ^\circ\text{F/h.Btu}$
Velocity	$1 \text{ m/s} = 3.60 \text{ km/h}$	$1 \text{ m/s} = 3.2028 \text{ ft/s} = 2.237 \text{ mi/h}$ $1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$ $1 \text{ mi/h} = 1.609 \text{ km/h}$
Viscosity, dynamic	$1 \text{ kg/m.s} = 1 \text{ N.s/m}^2 = 1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ poise}$	$1 \text{ kg/m.s} = 2419.1 \text{ lbf.ft/h}$ $= 0.020886 \text{ lbf.s/ft}^2$ $= 5.8016 \times 10^{-6} \text{ lbf.h/ft}^2$
Viscosity, kinematic	$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ $1 \text{ stoke} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10.764 \text{ ft}^2/\text{s} = 3.875 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{h}$ $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10.764 \text{ ft}^2/\text{s}$
Volume	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 (\text{cc})$	$1 \text{ m}^3 = 6.1024 \times 10^4 \text{ in}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ $= 264.17 \text{ gal (U.S.)}$ $1 \text{ U.S. gallon} = 231 \text{ in}^3 = 3.7854 \text{ L}$ $1 \text{ fl ounce} = 29.5735 \text{ cm}^3 = 0.0295735 \text{ L}$ $1 \text{ U.S. gallon} = 128 \text{ fl ounces}$

LAMPIRAN B

a. Perhitungan Beban Transmisi Melalui Dinding

AHU	Nama tenant	Arah	Solar Time												
			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4-1	LAOPAN	W	2249,33	2249,33	2249,33	2384,70	2520,08	2926,21	3467,71	4279,97	5092,23	5904,48	6445,99	6581,36	6445,99
4-2	SUSHI TEI	S	2976,00	2975,99	3232,20	3488,42	4000,84	4513,27	4769,47	5281,90	5794,32	5794,32	5794,32	6306,75	6306,75
4-4	FUNWORLD	W	5390,83	5390,83	5390,83	5715,28	6039,73	7013,08	8310,87	10257,56	12204,25	14150,94	15448,74	15773,19	15448,74
	LAOPAN	W	2249,32	2249,32	2249,32	2384,70	2520,08	2926,21	3467,71	4279,97	5092,23	5904,48	6445,99	6581,36	6445,99
	Total		7640,15	7640,15	7640,15	8099,98	8559,81	9939,29	11778,58	14537,53	17296,48	20055,42	21894,73	22354,55	21894,73
4-5	FUNWORLD	W	5390,81	5390,81	5390,81	5715,26	6039,71	7013,05	8310,84	10257,52	12204,20	14150,89	15448,68	15773,12	15448,68
4-6	FUNWORLD	W	5390,81	5390,81	5390,81	5715,26	6039,71	7013,05	8310,84	10257,52	12204,20	14150,89	15448,68	15773,12	15448,68
4-13	BLUE BASIL	E	5271,05	6341,73	7412,41	8054,82	8483,09	8697,23	8697,23	8483,09	8483,09	8268,96	8054,82	7626,55	7198,27
	TA WAN	E	5266,01	6335,67	7405,33	8047,13	8474,99	8688,92	8688,92	8474,99	8474,99	8261,06	8047,13	7619,26	7191,40
	PURI IWAKE	E	5266,01	6335,67	7405,33	8047,13	8474,99	8688,92	8688,92	8474,99	8474,99	8261,06	8047,13	7619,26	7191,40
	HUNGRY JEFF	E	4350,09	5233,71	6117,32	6647,49	7000,93	7177,65	7177,65	7000,93	7000,93	6824,21	6647,49	6294,04	5940,60
	Total		20531,17	24246,78	28340,39	30796,56	32434,01	33252,73	33252,73	32434,01	32434,01	31615,28	30796,56	29159,12	27521,67
4-14	HUNGRY JEFF	E	4350,09	5233,71	6117,32	6647,49	7000,93	7177,65	7177,65	7000,93	7000,93	6824,21	6647,49	6294,04	5940,60

b. Perhitungan Beban Transmisi Melalui Kaca

AHU	Nama tenant	Tipe Kaca	Solar Time												
			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4-2	SUSHI TEI	Single Glass	7618,21	9998,90	11586,02	13966,72	14760,28	15553,84	15553,85	14760,28	13966,72	12579,39	10792,47	9205,34	7618,21
4-14	GEKKO	Single Glass	11759,10	15433,76	17883,56	21558,26	22783,17	24008,07	24008,07	22783,17	21558,27	19108,46	16658,66	14208,86	11759,06

c. Perhitungan Beban Radiasi Melalui Kaca

AHU	Nama tenant	Tipe Kaca	Solar Time												
			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
4-2	SUSHI TEI	Single Glass	2783,57	2969,14	3154,72	5752,72	9835,30	13361,17	15216,88	15031,31	11319,88	2969,14	2226,86	1855,71	1484,57
4-14	GEKKO	Single Glass	18693,88	12362,08	8140,88	7236,34	6633,31	6030,28	5125,74	4221,19	3316,65	1809,08	1507,57	1206,05	1206,05

d. Perhitungan Beban Penghuni

AHU	Tenant	q _s (BTU/Hr)	q (BTU/Hr)	n _{weekdays}			Sensible Heat CLF For	Total Penghuni	Total Penghuni	q _s (BTU/Hr)			q _s (BTU/Hr)		
				11.00	16.00	19.00				Solar Time I	Solar Time II	Solar Time III	Solar Time I	Solar Time II	Solar Time III
4-1	LAOPAN	255	325	14	23	26	1	63	644	3370	5865	6630	4350	7475	8450
	SHIUN	255	325	12	18	26	1	56	637	3060	4390	6630	3900	5850	8450
	LOLY POLY	315	325	8	12	20	1	40	681	2520	3780	6300	2600	3900	6500
	CHIBILAND	315	325	8	18	24	1	50	691	2520	5670	7560	2600	5850	7800
4-2	SUSHI TEI	255	325	28	40	45	1	113	694	7140	10200	11475	9100	13000	14625
4-3	KORIDOR	255	325	25	35	45	1	105	686	6375	8925	11475	8125	11375	14625
4-4	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166	747	9180	14025	19125	11700	17875	24375
	FIRST LOVE PATISSERIE	255	325	15	30	24	1	69	650	3825	7650	6100	4875	9750	7800
4-5	LAOPAN	255	325	14	23	26	1	63	644	3370	5865	6630	4350	7475	8450
	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166	747	9180	14025	19125	11700	17875	24375
4-6	FUN WORLD	255	325	36	55	75	1	166	747	9180	14025	19125	11700	17875	24375
4-8	FOOD WAVE	255	325	296	442	612	1	1350	1931	75480	112710	156060	96200	143650	198900
4-9	PIZZA HUT	255	325	28	32	38	1	98	679	7140	8160	9690	9100	10400	12350
	EGA PASTRY	255	325	8	18	24	1	50	631	2040	4590	6100	2600	5850	7800
	LYNETTE	255	325	8	12	20	1	40	621	2040	3060	5100	2600	3900	6500
4-10	THE DUCK KING	255	325	30	40	55	1	125	706	7650	10200	14025	9750	13000	17875
	PIZZA HUT	255	325	28	32	38	1	98	679	7140	8160	9690	9100	10400	12350
4-11	THE DUCK KING	255	325	30	40	55	1	125	706	7650	10200	14025	9750	13000	17875
4-12	BENTOYA	255	325	18	30	40	1	88	669	4590	7650	10200	5850	9750	13000
4-13	BLIE BASIL TAHI CUISINE	255	325	14	30	36	1	80	661	3370	7650	9180	4350	9750	11700
	TA WAN	255	325	13	21	42	1	76	657	3315	5355	10710	4225	6825	13650
	PURI TWAKE	255	325	12	23	33	1	68	649	3060	5865	8415	3900	7475	10725
	HUNGRI JEFF	255	325	14	24	43	1	81	662	3370	6120	10965	4350	7800	13975
4-14	HUNGRI JEFF	255	325	14	24	43	1	81	662	3370	6120	10965	4350	7800	13975
	GEKKO	255	325	12	24	26	1	62	643	3060	6120	6630	3900	7800	8450
	X.O XUKI	255	325	33	75	120	1	228	809	8415	19125	30600	10725	24375	39000
4-15	DE'EXCELSO	255	325	20	35	55	1	110	691	5100	8925	14025	6500	11375	17875
4-16	MY KOPLO	255	325	20	40	60	1	120	701	5100	10200	15300	6500	13000	19500

e. Perhitungan Beban Peralatan

No	Jenis Peralatan	Without Hood	With Hood
		Heat Gain (BTU/Hr)	Heat Gain (BTU/Hr)
1	Coffee Brewer atau Coffee Maker	1230	
2	Freezer (Large)	540	
3	Freezer (Small)	320	
4	Blender	256,48	
5	Oven (Pizza)		464,032
6	Oven (General)		1364,8
7	Printer Kecil	159,40864	
8	Printer Besar	398,5216	
9	Microwave	1435,7696	
10	Mixer	15,83168	
11	Refrigerator Large atau Chiller	169,2352	
12	Refrigerator Small atau Kulkas Biasa	376,6848	
13	Display Case atau Showcase (Refrigerator)	349,3888	
14	Ice Maker	1026,3296	
15	Toaster	873,472	
16	Waffle Machine	895,3088	
17	Projector	163,776	
18	Dispenser	160	
19	Computer	289,3376	
20	Magicom	491,328	
21	Rice cooker	163,776	
22	Juicer	245,664	
23	Mesin Potong	40,944	
24	Laptop	30,0256	
25	TV	54,592	
26	LCD	163,78	
27	Mesin Register (Casir)	26,20416	
28	Telepon	10,9184	
29	Water Boiler (Urn)	229,2864	
30	Fryer		191,072

31	Dishwasher	85,16352	
32	Toaster	824,3392	
33	Warmer	450,384	
34	Pemotong	201,9904	
35	Holding Cabinet	152,8576	
36	Hot Plate		999,0336
37	Vacum Cleaner	164,86784	
38	Facsimile Machine	16,3776	
39	Kompur Listrik		545,92
40	Kompur Gas		1048,1664
41	Grill Microwave	764,288	
42	Wifi	43,6736	
43	Ice Maker atau Slicer Ice	1026,3296	
44	Can opener atau serut es	92,8064	
45	Slicer Beef	371,2256	
46	Blue Ray	8,1888	
47	DVD	8,1888	
48	TV LED	27,296	
49	Penghancur Kopi	245,664	
50	Steamer	112	
51	Heater	163,776	
52	Mesin Sosis	338,4704	
53	Sound (Speaker)	32,7552	
54	Roller walk in Chiller	169,2352	
55	CCTV + Monitor	27,296	
56	Home Theater	109,184	
57	Salamander Heating	848	
58	Espresso Machine	192	
59	Sound 1 set	545,92	
60	Kompur Gas Tabung	446	

f. Perhitungan Heat Gain Ducting

HEATGAIN DUCTING AHU 4-14										
PENAMPANG (cm)		PENAMPANG (m)		PANJANG	PANJANG	A(m ²)	A(ft ²)	Btu/hr ft ²	TD(°F)	Q(Btu/hr)
PANJANG	LEBAR	PANJANG	LEBAR	(mm)	(m)					
65	30	0,65	0,3	1441	1,441	2,74	8,98	0,25	16,6	37,28
135	50	1,35	0,5	4586	4,586	16,97	55,67	0,25	16,6	231,03
70	40	0,7	0,4	1880	1,88	4,14	13,57	0,25	16,6	56,31
105	45	1,05	0,45	11739	11,739	35,22	115,54	0,25	16,6	479,49
105	45	1,05	0,45	4321	4,321	12,96	42,53	0,25	16,6	176,50
75	35	0,75	0,35	1538	1,538	3,38	11,10	0,25	16,6	46,07
30	20	0,3	0,2	2192	2,192	2,19	7,19	0,25	16,6	29,84
30	20	0,3	0,2	2192	2,192	2,19	7,19	0,25	16,6	29,84
30	20	0,3	0,2	481	0,481	0,48	1,58	0,25	16,6	6,55
30	20	0,3	0,2	481	0,481	0,48	1,58	0,25	16,6	6,55
30	20	0,3	0,2	481	0,481	0,48	1,58	0,25	16,6	6,55
30	20	0,3	0,2	481	0,481	0,48	1,58	0,25	16,6	6,55
30	20	0,3	0,2	664	0,664	0,66	2,18	0,25	16,6	9,04
30	20	0,3	0,2	664	0,664	0,66	2,18	0,25	16,6	9,04
30	20	0,3	0,2	3192	3,192	3,19	10,47	0,25	16,6	43,46
30	20	0,3	0,2	3192	3,192	3,19	10,47	0,25	16,6	43,46
35	25	0,35	0,25	3030	3,03	3,64	11,93	0,25	16,6	49,51

g. Perhitungan RSHG

	Jenis Beban	Solar Time												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AHU 4-14	Qtransmisi dinding	4350,1	5233,7	6117,3	6647,5	7000,9	7177,7	7177,7	7000,9	7000,9	6824,2	6647,5	6294,0	5940,6
	Qtransmisi kaca	11759,1	15433,8	17883,6	21558,3	22783,2	24008,1	24008,1	22783,2	21558,3	19108,5	16658,7	14208,9	11759,1
	Qradiasi kaca	18693,9	12362,1	8140,9	7236,3	6633,3	6030,3	5125,7	4221,2	3316,7	1809,1	1507,6	1206,1	1206,1
	Qinfiltrasi	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2	3440,2
	Qpenerangan	25844,4	34459,2	51688,8	68918,4	86148,0	103377,6	120607,2	137836,8	155066,4	172296,0	163681,2	129222,0	94762,8
	Qpenghuni	9779	15045	20387	23524	26660	29797	31365	38556	40966	48195	45785	46267	24098
	Qperalatan	3941,7	5255,5	7883,3	10511,1	13138,9	15766,6	18394,4	21022,2	23649,9	26277,7	24963,8	19708,3	14452,7
	Qducting	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1	1267,1
	RSHG	79075,6	92496,5	116808,4	143102,6	167071,8	190864,2	211385,3	236127,5	256265,2	279217,7	263951,2	221613,7	156926,0
	Qfan	3953,8	4624,8	5840,4	7155,1	8353,6	9543,2	10569,3	11806,4	12813,3	13960,9	13197,6	11080,7	7846,3
	Total RSHG	83029,4	97121,4	122648,8	150257,7	175425,3	200407,4	221954,6	247933,9	269078,4	293178,6	277148,8	232694,3	164772,3

h. Perhitungan RLHG

AHU	Jenis Beban	Solar Time												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AHU 4-1	Qpenghuni	8873	13650	14999	17306	19614	21921	23075	24960	26520	31200	29640	29952	15600
AHU 4-2	Qpenghuni	5915	9100	8450	9750	11050	12350	13000	11700	12431	14625	13894	14040	7313
AHU 4-3	Qpenghuni	5281	8125	7394	8531	9669	10806	11375	11700	12431	14625	13894	14040	7313
AHU 4-4	Qpenghuni	13731	21125	22815	26325	29835	33345	35100	32500	34531	40625	38594	39000	20313
AHU 4-5	Qpenghuni	7605	11700	11619	13406	15194	16981	17875	19500	20719	24375	23156	23400	12188
AHU 4-6	Qpenghuni	7605	11700	11619	13406	15194	16981	17875	19500	20719	24375	23156	23400	12188
AHU 4-8	Qpenghuni	62530	96200	93373	107738	122103	136468	143650	159120	169065	198900	188955	190944	99450
AHU 4-9	Qpenghuni	9295	14300	13098	15113	17128	19143	20150	21320	22653	26650	25318	25584	13325
AHU 4-10	Qpenghuni	12253	18850	15210	17550	19890	22230	23400	24180	25691	30225	28714	29016	15113
AHU 4-11	Qpenghuni	6338	9750	8450	9750	11050	12350	13000	14300	15194	17875	16981	17160	8938
AHU 4-12	Qpenghuni	3803	5850	6338	7313	8288	9263	9750	10400	11050	13000	12350	12480	6500
AHU 4-13	Qpenghuni	11196	17225	20703	23888	27073	30258	31850	40040	42543	50050	47548	48048	25025
AHU 4-14	Qmfiltrasi	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389	11389
	Qpenghuni	12464	19175	25984	29981	33979	37976	39975	49140	52211	61425	58354	58968	30713
	Total RLHG	23853	30564	37373	41370	45368	49365	51364	60529	63600	72814	69743	70357	42102
AHU 4-15	Qmfiltrasi	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056	13056
	Qpenghuni	4225	6500	7394	8531	9669	10806	11375	14300	15194	17875	16981	17160	8938
	Total RLHG	17281	19556	20450	21587	22725	23862	24431	27356	28250	30931	30037	30216	21993
AHU 4-16	Qpenghuni	4225	6500	8450	9750	11050	12350	13000	15600	16575	19500	18525	18720	9750

i. Perhitungan GTH

AHU	Jenis Bahan	Solar Time												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AHU 4-14	Total RSHG	83029,40	97121,36	122648,78	150257,69	175425,34	200407,42	221954,55	247933,86	269078,43	293178,57	277148,79	232694,35	164772,28
	Total RLHG	23853	30564	37373	41370	45368	49365	51364	60529	63600	72814	69743	70357	42102
	Qducting	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83
	GTH	110038,1358	130841,35	163177,52	194783,93	223949,08	252928,66	276474,5445	311618,85	335834,67	369148,56	350047,53	306207,34	210029,77
	RTHG	106882,3058	127685,52	160021,69	191628,1	220793,25	249772,83	273318,7145	308463,02	332678,84	365992,73	346891,7	303051,51	206873,94
	OATH	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83	3155,83
	RTHG+10%	117570,5363	140454,07	176023,86	210790,91	242872,57	274750,11	300650,586	339309,33	365946,72	402592,01	381580,87	333356,66	227561,34
	GTH+10%	121041,9493	143925,48	179495,27	214262,32	246343,99	278221,53	304121,999	342780,74	369418,14	406063,42	385052,28	336828,07	231032,75

j. Perhitungan RSHF

AHU	RSHG	RTHG	RSHF
AHU 4-1	374195,21	445934,730	0,839125513
AHU 4-2	102193,15	128499,966	0,795277649
AHU 4-3	94435,78	119966,860	0,787182242
AHU 4-4	535735,11	633996,116	0,845013229
AHU 4-5	415120,16	483444,680	0,85867149
AHU 4-6	415727,52	484112,767	0,85874107
AHU 4-8	1109119,52	1438821,467	0,770852771
AHU 4-9	203670,94	253353,030	0,803901719
AHU 4-10	305360,77	369144,346	0,827212369
AHU 4-11	119568,47	151187,813	0,79086048
AHU 4-12	69038,24	90242,059	0,765033912
AHU 4-13	290902,17	375047,385	0,775641105
AHU 4-14	293178,57	402592,008	0,728227508
AHU 4-15	76481,41	118153,455	0,647305759
AHU 4-16	66280,01	94358,012	0,702431193

k. Perhitungan RTHG

AHU	Solar Time												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AHU 4-1	80237,9	108702,1	148633,2	190609,5	232585,8	274874,8	314901,5	356964,4	398167,4	445934,7	424786,7	351634,2	247316,5
AHU 4-2	41127,6	54065,5	62273,0	78095,6	94095,6	109452,6	120364,1	124385,1	128408,9	128500,0	120758,4	105045,5	74950,5
AHU 4-3	27707,7	37737,2	44918,8	55849,6	66780,3	77711,0	87500,7	96801,4	106917,1	119966,9	114175,5	97171,6	66377,4
AHU 4-4	116612,9	157863,4	214087,9	274494,8	334901,7	396370,9	454850,1	505654,4	565750,1	633996,1	605628,4	501306,6	357616,2
AHU 4-5	87082,9	116039,5	157358,8	202802,0	248245,1	294437,8	339212,1	386202,9	432378,7	483444,7	461757,4	379656,6	273822,4
AHU 4-6	87751,0	116707,6	158026,9	203470,1	248913,2	295105,8	339880,1	386871,0	433046,8	484112,8	462425,5	380324,7	274490,5
AHU 4-8	286667,8	405897,8	503585,7	635765,7	767945,6	900125,6	1017895,8	1152292,7	1275605,1	1438821,5	1367189,3	1164458,7	774179,7
AHU 4-9	51465,8	71334,6	88577,3	112275,0	135972,8	159670,5	181347,0	203349,4	225677,9	253353,0	240852,1	202076,4	138171,7
AHU 4-10	71729,9	100340,0	123785,2	159227,8	194670,3	230112,8	263208,0	295520,8	329300,7	369144,3	350738,5	289849,0	200459,5
AHU 4-11	33284,7	45704,8	54244,5	68000,4	81756,3	95512,2	107964,1	121719,9	134660,8	151187,8	143820,8	121883,9	83092,1
AHU 4-12	18474,0	25717,9	32968,4	41196,9	49425,5	57654,0	64904,5	72481,0	80057,5	90242,1	85801,8	73517,7	48975,5
AHU 4-13	82734,3	111388,4	146754,9	179643,3	211586,2	242583,4	269440,0	308587,2	337269,5	375047,4	357250,3	309039,7	213635,5
AHU 4-14	117570,5	140454,1	176023,9	210790,9	242872,6	274750,1	300650,6	339309,3	365946,7	402592,0	381580,9	333356,7	227561,3
AHU 4-15	39177,2	46776,2	54638,8	62990,4	71342,1	79693,7	86904,3	98842,1	106704,7	118153,5	113325,6	101545,1	72909,8
AHU 4-16	18091,9	25339,6	34618,9	42594,2	50569,5	58544,8	65216,0	75799,4	83122,6	94358,0	89718,4	79375,2	50645,0

l. Perhitungan Pressure Drop Saluran Luru

HEATGAIN DUCTING AHU 4-14																			
PENAMPANG (cm)		PENAMPANG (m)		PANJANG (mm)	PANJANG (m)	A (m ²)	A (ft ²)	U (Btu/hr ft ² °F)	TD (°F)	Q (Btu/hr)	V (m/s)	V ² (m ² /s)	Deq (m)	Re	e (m)	e/D	f	ΔP (N/m ²)	ΔP (bar)
PANJANG	LEBAR	PANJANG	LEBAR																
135	50	1,35	0,5	4586	4,586	16,9682	55,66927	0,25	16,6	231,0275	10,16	103,29	0,73	374556,4	0,000155	0,000212407	0,015975	6,139717	0,000061397
105	45	1,05	0,45	11739	11,739	35,217	115,5399	0,25	16,6	479,4907	14,52	210,79	0,63	461952,9	0,000155	0,000246032	0,015952	37,09808	0,000370981
105	45	1,05	0,45	4321	4,321	12,963	42,52901	0,25	16,6	176,4954	14,52	210,79	0,63	461952,9	0,000155	0,000246032	0,015952	13,65541	0,000136554

m. Perhitungan Saluran Reduction Area

PENAMPANG (m)		A1 (m ²)	PENAMPANG (m)		A2 (m ²)	A1/A2	(A1/A2) ²	V (m/s)	V ² (m ² /s)	V ² /2 (m ² /s)	ρ	ΔP (N/m ²)	ΔP (bar)
PANJANG	LEBAR		PANJANG	LEBAR									
1,65	0,5	0,825	0,65	0,3	0,195	4,230769	17,89941	13,451	180,928874	90,46444	1,1842	1810,4	0,01810400
1,35	0,5	0,675	1,05	0,45	0,4725	1,428571	2,040816	11,956	142,956147	71,47807	1,1842	88,09921	0,00088099
1,05	0,45	0,4725	0,5	0,45	0,225	2,1	4,41	19,670	386,91877	193,4594	1,1842	781,2126	0,00781213
0,5	0,45	0,225	0,45	0,35	0,1575	1,428571	2,040816	35,869	1286,60532	643,3027	1,1842	792,8928	0,00792893
												3472,604	0,03472604

n. Perhitungan Elbow 90°

AHU 4-14											
PENAMPANG		JUMLAH	R	H/W	R/W	C	V (m/s)	V ² (m ² /s)	ρ (kg/m ³)	ΔP (N/m ²)	ΔP (bar)
H (m)	W (m)										
1,3	0,5	1	1,3	2,60	2,60	0,01	7,230769	52,28402	1,1842	0,309574	0,00000310
0,7	0,4	1	0,7	1,75	1,75	0,04	16,78571	281,7602	1,1842	6,673209	0,00006673
1	0,4	1	1	2,50	2,50	0,01	11,75	138,0625	1,1842	0,817468	0,00000817
0,7	0,3	1	0,7	2,33	2,33	0,02	22,38095	500,907	1,1842	5,931741	0,00005932

RIWAYAT PENULIS



Sanna Ayu Rachmayanti anak terakhir dari dua bersaudara lahir di Surabaya, 27 Agustus 1991, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah 6 (1997-2003), Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama di SLTP Negeri 13 Surabaya (2003-2006), Sekolah Menengah Atas di SMA Khadijah Surabaya (2006-2009), Menyelesaikan pendidikan Diploma 3 di D3 Teknik Mesin ITS (2009-2012) dengan Jurusan Teknik Mesin program studi Teknik Konversi Energi. Dan melanjutkan studi Strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada angkatan Lintas Jalur (LJ) Genap 2012 di Bidang Studi Konversi Energi. Email penulis sannaayu@gmail.com